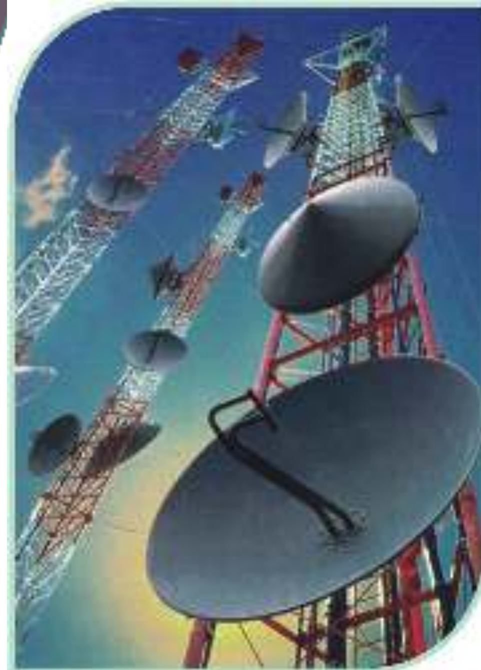
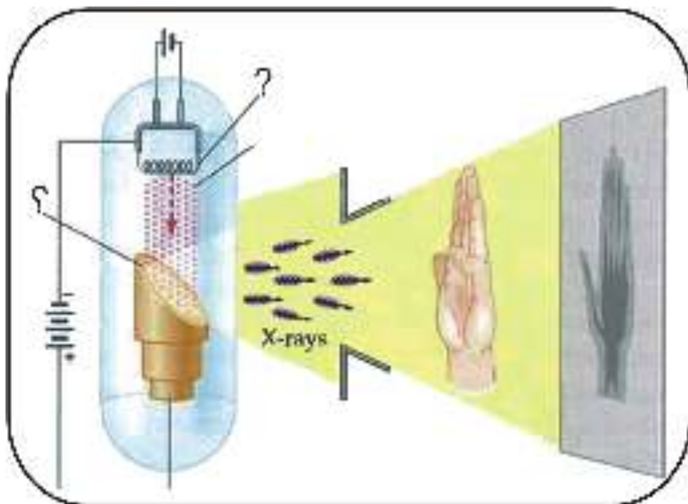
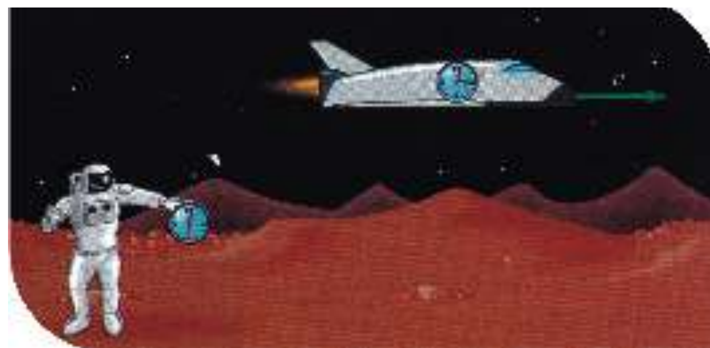
وزارت معارف

فزیک
صنف ۱۲



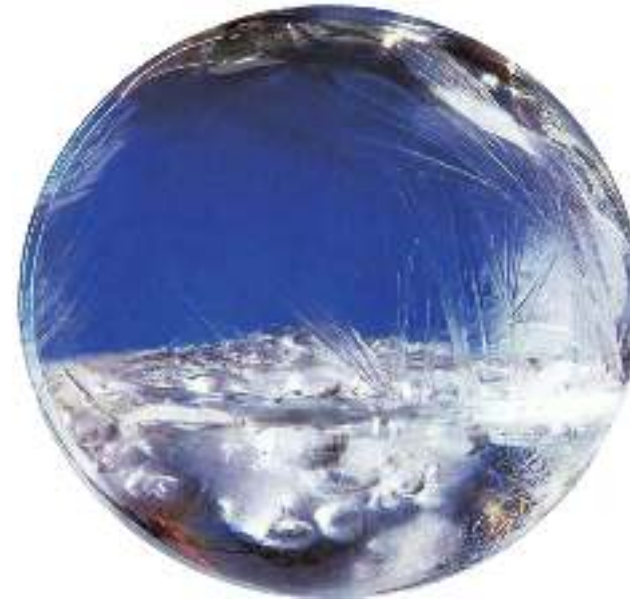


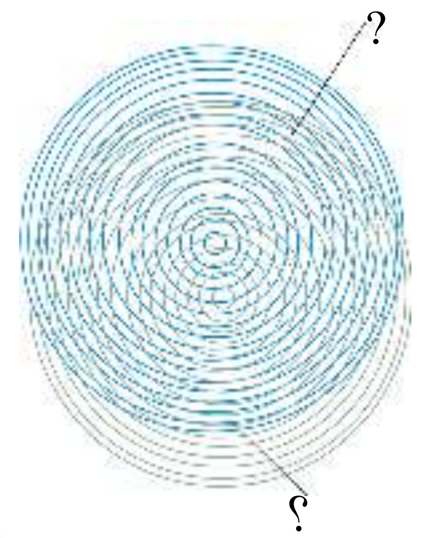
سال چاپ: ۱۳۹۸ هـ. ش.



فزیک

صنف دوازدهم









سرود ملی

دا وطن افغانستان دی
دا عزت د هر افغان دی
کور د سولې کور د تورې
هر بچی یې قهرمان دی
دا وطن د ټولو کور دی
د بلوڅو د ازبکو
د پښتون او هزاره وو
د ترکمنو د تاجکو
ورسره عرب، گوجر دي
پامیریان، نورستانیان
براهوي دي، قزلباش دي
هم ایماق، هم پشه یان
دا هېواد به تل ځلیږي
لکه لمر پر شنه آسمان
په سینه کې د آسیا به
لکه زړه وي جاویدان
نوم د حق مو دی رهبر
وایو الله اکبر وایو الله اکبر

بسم الله الرحمن الرحیم



وزارت معارف

فزیک

physics

صنف دوازدهم

سال چاپ: ۱۳۹۸ هـ.ش.

مشخصات کتاب

مضمون: فزیک

مؤلفان: گروه مؤلفان کتاب‌های درسی بخش فزیک نصاب تعلیمی

ویراستاران: اعضای دیپارتمنت ویراستاری و ایدیت زبان دری

صنف: دوازدهم

زبان متن: دری

انکشاف دهنده: ریاست عمومی انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی

ناشر: ریاست ارتباط و آگاهی عامهٔ وزارت معارف

سال چاپ: ۱۳۹۸ هجری شمسی

مکان چاپ: کابل

چاپخانه:

ایمیل آدرس: curriculum@moe.gov.af

پیام وزیر معارف

اقرأ باسم ربک

سپاس و حمد بیکران آفریدگار یکتایی را که بر ما هستی بخشید و ما را از نعمت بزرگ خواندن و نوشتن برخوردار ساخت، و درود بی‌پایان بر رسول خاتم- حضرت محمد مصطفی ﷺ که نخستین پیام الهی بر ایشان «خواندن» است.

چنانچه بر همه‌گان هویداست، سال ۱۳۹۷ خورشیدی، به نام سال معارف مسمی گردید. بدین ملحوظ نظام تعلیم و تربیت در کشور عزیز ما شاهد تحولات و تغییرات بنیادینی در عرصه‌های مختلف خواهد بود؛ معلم، متعلم، کتاب، مکتب، اداره و شوراهای والدین، از عناصر شش‌گانه و اساسی نظام معارف افغانستان به شمار می‌روند که در توسعه و انکشاف آموزش و پرورش کشور نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. در چنین برهه سرنوشت‌ساز، رهبری و خانوادهٔ بزرگ معارف افغانستان، متعهد به ایجاد تحول بنیادی در روند رشد و توسعه نظام معاصر تعلیم و تربیت کشور می‌باشد.

از همین‌رو، اصلاح و انکشاف نصاب تعلیمی از اولویت‌های مهم وزارت معارف پنداشته می‌شود. در همین راستا، توجه به کیفیت، محتوا و فرایند توزیع کتاب‌های درسی در مکاتب، مدارس و سایر نهادهای تعلیمی دولتی و خصوصی در صدر برنامه‌های وزارت معارف قرار دارد. ما باور داریم، بدون داشتن کتاب درسی باکیفیت، به اهداف پایدار تعلیمی در کشور دست نخواهیم یافت.

برای دستیابی به اهداف ذکرشده و نیل به یک نظام آموزشی کارآمد، از آموزگاران و مدرسان دلسوز و مدیران فرهیخته به‌عنوان تربیت کننده‌گان نسل آینده، در سراسر کشور احترامانه تقاضا می‌گردد تا در روند آموزش این کتاب درسی و انتقال محتوای آن به فرزندان عزیز ما، از هر نوع تلاشی دریغ نورزیده و در تربیت و پرورش نسل فعال و آگاه با ارزش‌های دینی، ملی و تفکر انتقادی بکوشند. هر روز علاوه بر تجدید تعهد و حس مسؤولیت پذیری، با این نیت تدریس راآغاز کنند، که در آیندهٔ نزدیک شاگردان عزیز، شهروندان مؤثر، متمدن و معماران افغانستان توسعه یافته و شکوفا خواهند شد.

همچنین از دانش آموزان خوب و دوست داشتنی به مثابه ارزشمندترین سرمایه‌های فردای کشور می‌خواهم تا از فرصت‌ها غافل نبوده و در کمال ادب، احترام و البته کنجکاوی علمی از درس معلمان گرامی استفادهٔ بهتر کنند و خوشه چین دانش و علم استادان گرامی خود باشند.

در پایان، از تمام کارشناسان آموزشی، دانشمندان تعلیم و تربیت و همکاران فنی بخش نصاب تعلیمی کشور که در تهیه و تدوین این کتاب درسی مجدانه شبانه روز تلاش نمودند، ابراز قدردانی کرده و از بارگاه الهی برای آن‌ها در این راه مقدس و انسان‌ساز موفقیت استدعا دارم.

با آرزوی دستیابی به یک نظام معارف معیاری و توسعه یافته، و نیل به یک افغانستان آباد و مترقی دارای شهروندان آزاد، آگاه و مرفه.

دکتور محمد میرویس بلخی

وزیر معارف

پیشگفتار

عصر ما عصر انکشافات و تحولات سریع ساینس و تکنالوژی است و طبق تخمین دانشمندان، در سالیان بعد حجم اطلاعات علمی‌حتا در هر چند ماه دو برابر خواهد شد. واضح است که همگام با این تحولات، شیوه‌های زنده‌گی ما و نیازهای نسل جوان فردای ما، از جمله شیوه‌های آموزش علوم (فزیک) نیز در تغییر خواهد بود. در این شیوه‌ها تأکید بر آن است که شاگردان به‌آسانی و به سرعت بیاموزند و بتوانند مهارت‌های لازم را در مراحل آموزش و حل مسأله‌ها به‌کار برند.

در این کتاب سعی به‌عمل آمده است که محتویات درسی بر اساس روش آموزش فعال تألیف گردد. سه هدف دانشی، مهارتی و ذهنیتی در متن هر درس در محراق توجه مؤلفین قرار داشته و افزون برآن، حجم عناوین و محتویات کتاب بر مبنای پالیسی‌های تعلیمی‌و تربیتی دولت، پلان تعلیمی‌زمانی و مفردات طرح شده با معیارهای عمومی‌محتوایی و نگارشی قبول شده برای کتب درسی دورۀ ثانوی افغانستان، تنظیم و تدوین گردیده است. تلاش شده که مطالب به گونۀ ساده و روان مطرح شود و با ادامۀ فعالیت‌ها و ذکر مثال‌ها و سؤال‌ها، فهم آن برای شاگردان آسان‌تر گردد.

از معلمان گرانقدر انتظار می‌رود که با تجارب و توانایی‌های غنی‌یی که دارند، در طراح فعالیت‌های ابتکاری‌یی که می‌تواند در آموزش بیشتر شاگردان ممد واقع گردد و همچنان در ابراز پیشنهادهای سازنده برای بهبود کیفی کتاب، از هیچ‌گونه تلاش و همکاری دریغ نکنند. اطمینان می‌دهیم که ان شاءالله از نظرهای ارزشمند و اصلاحی آنها برای رفع نواقص و اشتباهات احتمالی استفاده و به گرمی استقبال خواهد شد.

در پایان، از استادان محترمی‌که در نقد و اصلاح این کتاب زحمت کشیده‌اند سپاس‌گذاریم و از مسؤولان و کارکنان محترم بخش کمپیوتر که درکار تایپ، دیزاین و صفحه‌آرایی کتاب، همکاری مزید نموده اند ممنون و متشکریم.

دیپارتمنت فزیک

ریاست عمومی‌انکشاف نصاب تعلیمی‌و تألیف کتب درسی



فهـــرست

صفحه



فهرست

صفحه

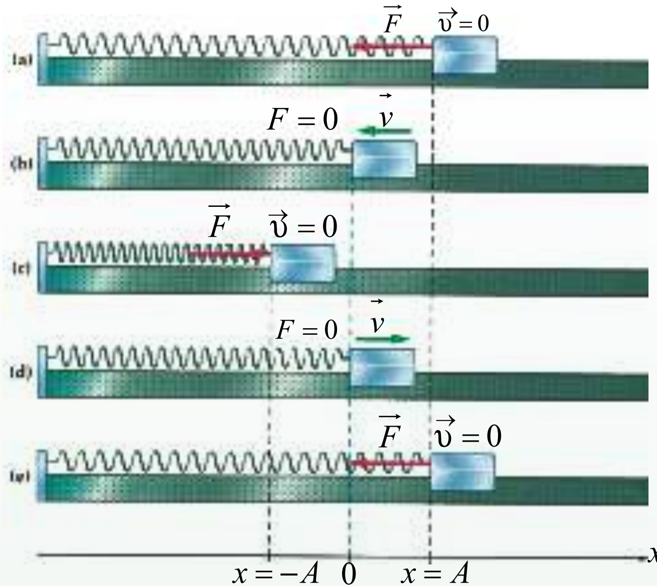


فهـــرست

صفحه

اهتزازات و حرکت سادهٔ‌هارمونیکی

حرکت سادهٔ‌هارمونیکی (Simple Harmonic Motion)



اهتزازات اطراف ما را فرا گرفته اند؛ حرکت طفل روی گازک، حرکت درختان با وزش نسیم و شنا کردن کشتی در بحر و به هر طرفی که ببینید، اجسامی‌را خواهید دید که به طور منظم در حرکت اند و با تیله کردن آن‌ها از حالت تعادل، به عقب و به جلو نوسان می‌کنند. شما حرکت انتقالی را به تفصیل مطالعه نمودید و در صنف نهم دربارهٔ اهتزاز آموختید. در این فصل، شما دربارهٔ ارتعاشات و اهتزازات بیشتر می‌آموزید و تصویر مکمل چنین حرکتی را در ذهن‌تان ترسیم خواهید کرد. ارتعاش چیست؟ حرکت سادهٔ‌هارمونیکی چیست؟ چگونه می‌توانیم آن را با زبان ریاضی توضیح دهیم؟ چه چیز سبب اهتزازات می‌شود؟ اهمیت اهتزازات در زنده‌گی ما و در صنعت چیست؟ حرکت قمر مصنوعی چه نوع حرکت است؟ و امثال آن، از جملهٔ سؤال‌هایی اند که شما در پایان این فصل به آن‌ها جواب می‌دهید و همچنان توانایی آن را حاصل خواهید کرد که به نتایج متوقعه رسیده و مهارت‌های مربوطهٔ ذیل را انجام دهید:

1 - تعریف کردن اصطلاحات: اهتزاز مکمّل، حرکت سادهٔ‌هارمونیکی، دامنه (امپلیتیود)، تواتر (فریکونسی) و زمان مکمّل اهتزاز (پیریود).

2 - توضیح فرق بین: حرکت انتقالی، حرکت اهتزازی و حرکت پیریودیک (تناوبی).

3 - استخراج رابطه بین فریکونسی و پیریود.

4 - ارتباط دادن اهتزاز و قوهٔ برگرداننده.

5 - نمایش معادلات حرکت سادهٔ‌هارمونیکی و حرکت دایروی یکنواخت.

6 - ارایهٔ حرکت سادهٔ‌هارمونیکی توسط گراف.

1-1: اهتزاز چیست؟

شما حرکت انتقالی (حرکت در یک بعد روی خط مستقیم و حرکت دوبعدی که در آن جسم موقعیت خود را به طور متمادی تغییر می‌دهد) را مطالعه کردید. همچنان روابط بین موقعیت، سرعت و شتاب را با زمان دریافت نمودید و حرکت دایروی را نیز آموختید. اکنون ما نوع سوم حرکت ذرات در طبیعت را که نوع بسیار معمول حرکت است و به نام حرکت اهتزازی یاد می‌شود؛ مطالعه می‌کنیم.

اهتزاز چیست؟

برای این‌که اهتزاز را تعریف کرده بتوانید، فعالیت ذیل را انجام دهید:



فعالیت

مواد ضروری: تار، خط‌کش $(30cm-50cm)$ تست تیوب، گیرا و آب.

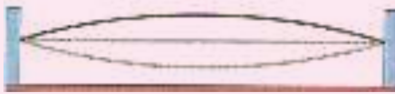
طرزالعمل:

1. تار را به دو نقطهٔ ثابت بسته کنید و بعد از نقطهٔ وسط به آن ضرب بزنید، شکل (1-1a): آنچه را مشاهده می‌کنید یادداشت کنید.

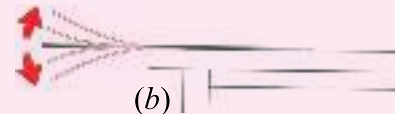
2. خط‌کش را در انجام کنارهٔ میز توسط گیرا محکم نموده انجام دیگر آن را بالا کش نموده و آن را رها کنید. شکل (1-1b)

3. کمی‌آب در تست تیوب انداخته و آن‌را داخل یک ظرف آب کنید (1-1c) تیوب را کمی‌بالا برده و بعد رهایش سازید. نحوهٔ حرکت آن‌را توضیح دهید.

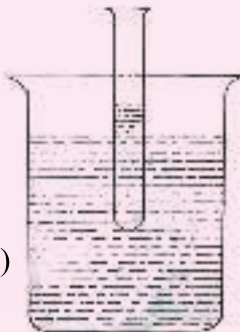




(a)



(b)



(c)

شکل (1-1)

اکنون به سؤالات ذیل جواب بدهید:

1 - آیا شما حرکت انتقالی را در فعالیت مشاهده توانستید؟ چگونه؟

2 - کدام وجهه مشترک در بین حرکت‌هایی که مشاهده کردید، وجود داشت؟

بدون شک شما مشاهده کردید که هر یک از سه جسم، به حول یک نقطهٔ معین به طرف پایین و بالا حرکت می‌کردند. به این نوع حرکت‌های تکراری و دوام‌دار که همهٔ ما با آن آشنا هستیم و در زنده‌گی روزمره با آن سروکار داریم، حرکت ارتعاشی و یا اهتزازی می‌گویند که چنین می‌تواند تعریف شود: **هرگاه یک جسم به اطراف نقطهٔ تعادلش به‌طور تکراری و دوام‌دار حرکت کند، به این نوع حرکت، حرکت اهتزازی گفته می‌شود.**

اگر انتظار بکشیم، خواهیم دید که اهتزازها به تدریج خاموش می‌شوند و جسم به موقعیت اولی (نقطهٔ تعادلش) برمی‌گردد. از آنجا که این نوع حرکت پدیده‌یی است که ساحهٔ بسیار وسیع دارد، از مفاهیم اساسی فزیک به شمار می‌رود. ما انتظار داریم که بدانیم سیستم‌های اهتزازی زیادی قطع نظر از طبیعت آن‌ها، با همین اصول و روش اهتزاز می‌کنند. تحلیل عمیق و همه‌جانبه از یک سیستم، ما را به نتایج خواهد رساند، که به آسانی بتوانیم آن را برای همه، سیستم‌ها تطبیق نماییم.



سؤال

حرکت‌ها را صنف‌بندی کنید:

حرکت یک طفل در خانه، حرکت تایر یک موتر، حرکت یک توپ تینس در یک مسابقه، حرکت سر، حرکت بادپکهٔ سقف خانه، حرکت مهتاب، حرکت آب باز در حوض آب و حرکت دروازه.

1-2: تعریف حرکت سادهٔ هارمونیکی

حرکت گاز خوردن یک طفل را به دقت نظاره کنید، خواهید دید که حرکت گاز در زمان‌های منظم و به طور خود به‌خود تکرار می‌شود. هر حرکتی که خود به‌خود و به طور منظم تکرار گردد، به نام حرکت پیریودیک (تناوبی) و یاهارمونیکی یاد می‌شود و هر حرکت پیریودیک که بتواند توسط گراف، تابع سادهٔ ساین و یا کوساین را نمایش دهد، به نام حرکت سادهٔهارمونیکی یاد می‌شود. برای شناسایی و تشخیص حرکت سادهٔهارمونیکی فعالیت ذیل را انجام دهید:

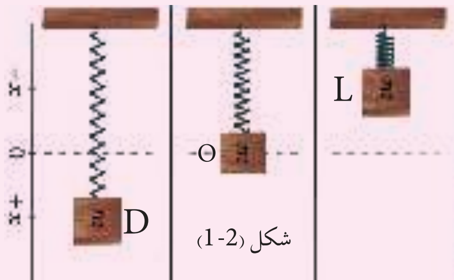


فعالیت

مواد ضروری: فنر، کتله، اتکا برای تعلیق

طرزالعمل:

1. فنر را از نقطهٔ اتکا بیاویزید.
2. یک کتله را به انجام فنر آویخته، آنچه را که مشاهده می‌کنید، یاداشت کنید. به شکل (2-1) نظر کنید.
3. کتلهٔ (m) را بالا ببرید تا این‌که فنر به طول اصلی‌اش برگردد و سپس رهایش کنید. حرکت کتله را توضیح داده و یادداشت نمایید.



شکل (2-1)

حالا با توجه به فعالیت فوق، به سؤالات ذیل جواب دهید:

1 - چرا زمانی‌که کتله را به فنر می‌آویزیم، فنر از لحاظ طولی، درازتر می‌شود؟

2 - سیستم دارای کدام نوع و یا انواع انرژی است در صورتی که اهتزاز وجود دارد؟ تغییرات انرژی را توضیح بدهید.

وقتی که کتله را به فنر آویزان می‌کنید، فنر توسط وزن به پایین کش می‌شود؛ اما زمانی که فنر درازتر می‌شود، یک قوه ظاهر می‌گردد که عبارت از قوهٔ فنر است و توسط قانون هوک چنین ارایه می‌شود: $F_s = -k \cdot x$ در این رابطه، k ثابت فنر و X تزاید طول فنر است. وقتی که اندازهٔ این قوه مساوی به (mg) اما موجه به طرف بالا گردد، کتله در حالت توازن خود قرار می‌گیرد، مطابق شکل وقتی که کتله را تا موقعیت L بالا ببرید، قوهٔ فنر به طرف صفر می‌رود و وقتی که آن را رها کنید، به سمت پایین شتاب می‌گیرد و سرعت آن به تدریج زیاد شده می‌رود تا این‌که اعظمی‌می‌شود. زمان‌که کتله به طرف پایین حرکت می‌کند، قوهٔ فنر ($F_S = -Kx$) بزرگ‌تر از (mg) بوده و قوهٔ منتجه به طرف بالا عمل می‌کند. بنابر این حرکت به سمت بالا شتابی می‌باشد، به این معنی که سرعت به کاهش آغاز می‌کند تا این‌که کتله به موقعیت D می‌رسد و $V = o$ می‌شود.

بــه یقین انرژی حرکی در موقعیت D به طــور کامل به انرژی ذخیروی تبدیل می‌گردد. در موقعیت D، قوۀ فنر (اعظمی) بوده، ســبب می‌شــود که به طرف بالا شــتاب بگیرد و دوباره ســرعت آن تا موقعیت O افزایــش یابد. در این موقعیت قوۀ منتجــه ناپدید و V بلندترین قیمت را برای خود می‌گیرد و کتله به اساس عطالتش تا رسیدن به نقطۀ آغاز حرکت ادامه می‌یابــد. این حرکــت خود به‌خود به طور دوام‌دار در زمان‌های مســاوی تکرار می‌گردد و از این ســبب است که به آن حرکت سادۀهارمونیک یا تکراری می‌گویند. اکنون بیایید تعریف دیگــری را برای حرکت ســادۀهارمونیکی پیدا کنیم. اگر حرکت اهتــزازی کتله در فعالیت گذشــته دوباره انجام دهیم و بالای شــتاب متمرکز شویم، خواهیم یافت که شتاب، همیشه موجــه به طــرف یک نقطه بوده و قیمت آن متناســب به فاصلۀ بی‌جا شــده از همان نقطه می‌باشــد. پس می‌توانیم بگوییم: هر جســم که شــتابی با این ویژه‌گی داشته باشد، حرکت سادۀهارمونیکی دارد.

سؤال

به کدام یک از حرکت‌های ذیل، حرکت ســادۀهارمونیکی گفته می‌توانیم؟ حرکت قمر مصنوعی به‌دور زمین، حرکــت یک رقاصه، حرکت تار محکم شــده به انجام‌های ثابت، حرکت خط‌کــش در فعالیت (1-1)، حرکت توپ بر روی زمین.

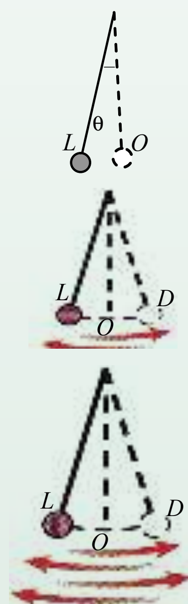
1-3: اهتزاز مکمل و رقاصۀ ساده

چطور می‌توانیم اهتزازها را حساب نماییم؟

برمی‌گردیم به فعالیــت قبلی و می‌بینیم چطور اهتزازها را در کتلۀ اهتزازکننده حساب کرده می‌توانیم؟

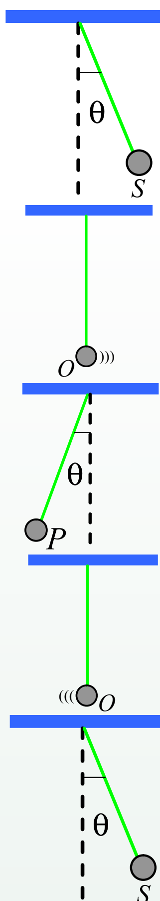
اگــر کتله از موقعیــت L به حرکت آغاز نموده و به موقعیت‌های O و D رفته و دوباره به L برگردد، حرکت در این مســیر طی شده را یک اهتزاز مکمل می‌گوییم، و هرگاه مشــاهدات خود را از موقعیت کتلــه در موقعیت O آغاز کنیم، در آن صورت حرکت از O به L و D و بازگشــت به O را یک اهتزاز مکمل می‌گوییم. شکل (3 – 1) دیده شود.

اکنون یک کتلۀ نوســان‌کننده را که از انجام یک تار محکم شــده و به متکا آویزان گردیده، در نظر می‌گیریم؛ به این کتلۀ آویزان شــده رقاصۀ ساده (Simple Pendulum) می‌گویند.



شکل (3-1)

شـکل (4-1)، اگـر آن را به یک طرف کش و پـس رهایش کنیم، رقاصه به نوســان کردن و یا اهتزاز کردن آغاز می‌نماید. طوری که در شــکل به وضاحت دیده می‌شود، می‌توان اهتزاز مکمل در مسیر حرکت را چنین نشان داد:



شکل (4-1)

$$S \to O \to P \to O \to S$$

اکنون اهتزاز مکمل را چنین تعریف می‌نماییم:

اهتزاز مکمل عبارت از حرکت جســم اهتزاز کننده، در بین دو عبور جســم از یک نقطهٔ کیفی مسیر اهتزاز در عین سمت می‌باشد.



سؤال

اهتزاز مکمل را برای رقاصهٔ شکل (4-1)، با در نظر داشت حالت‌های ذیل توضیح بدارید.

$a-$ (O) نقطهٔ آغاز حرکت باشد.

b- نقطهٔ P (هنگام بازگشت رقاصه) آغاز حرکت باشد.

زمان تناوب (پیریود)، تواتر (فریکونسی) و دامنه (امپلیتیود) در حرکت سادهٔهارمونیکی، همه از مشخصات اهتزاز می‌باشند که در این‌جا با توضیح فریکونسی به شرح آن‌ها می‌پردازیم:

1-4: فریکونسی در حرکت سادۀهارمونیکی چیست؟

اگر به یک حرکت اهتزازی نظاره کنید، با داشـــتن یک ساعت توقف‌کننده (stop watch) می‌توانید وقت یک اهتزاز مکمل را در وقتی که نوسان می‌کند، حساب کنید. برای محاسبهٔ وقت، ستاپ واچ را از یک موقعیت معین اهتزاز به حرکت آورده و یافته می‌توانید که در وقفهٔ معین زمان چند اهتزاز مکمل صورت گرفت "فریکونســـی عبـــارت از تعداد اهتزازات مکمل انجام شده توسط جسم اهتزازکننده یا نوسان‌کننده در یک ثانیه می‌باشد".

فریکونسی را در تجربه و به زبان ریاضی چنین افاده می‌کنند:

$$f(\text{فریکونسی}) = \frac{\text{تعداد اهتزازات مکمل}}{\text{زمان‌که برای انجام آن ضرورت است}}$$

فریکونســـی با واحد $\frac{\text{اهتزاز}}{\text{ثانیه}}$ اندازه می‌شـــود که به نام هرتس یاد می‌شـــود و به Hz نمایش داده می‌شود.

$$1H_z = 1S^{-1}........(1)$$

یکی از خواص دیگر حرکت ســـادۀهارمونیکی عبارت از پیریود (T) می‌باشد. T زمانی است که یک اهتزاز مکمل را در بر می‌گیرد. یا به عبارت دیگر، پیریود عبارت از وقتی است که در آن یک اهتزاز مکمل صورت می‌گرد، که آن‌را به T نمایش می‌دهند.

پیریود یا زمان تناوب را به ثانیه اندازه می‌کنند.

بدون شک که T معکوس فریکونسی (f) بوده و می‌توان نوشت:

$$T = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{T}..........(2)$$

همچنان سیستم‌های اهتزازی به اساس فاصله‌های بی‌جاشدهٔشان از موقعیت تعادل تفاوت دارند. کودکان زمانی‌که گاز می‌خورند اگر این فاصلهٔ بی‌جا شده بزرگ‌تر شود مهیج می‌شوند، در حالی‌که این فاصلهٔ بی‌جا شده در نقطهٔ وسطی پردهٔ یک دایرهٔ جسم اهتزاز کنندهٔ خیلی کوچک می‌باشد.

دامنه و یا امپلیتیود عبارت از فاصلهٔ اعظمی‌بی‌جا شدهٔ جسم مهتزز است که از موقعیت تعادل آن اندازه می‌شود.

توجه کنید

اهتزاز محدود به اجسام مادی نبوده؛ بلکه ارتعاشات میخانیکی از قبیل: تارهای گیتار، پستونهای ماشین‌های موتر، پردهٔ دایره‌ها، پرده‌های تیلفون، زنگ، سیستم‌های سپیکر و کرستل‌های کوارتز و همچنان نور، امواج رادیو واشعهٔ (X) همه حرکتهای اهتزازی اند.

آیا بین امپلیتیود و انرژی سیستم اهتزاز رابطه‌یی وجود دارد؟ شرح دهید.

1 - یک نقط به روی پرهٔ یک بادپکه در یک دقیقه 3000 دور می‌خورد. حساب کنید:

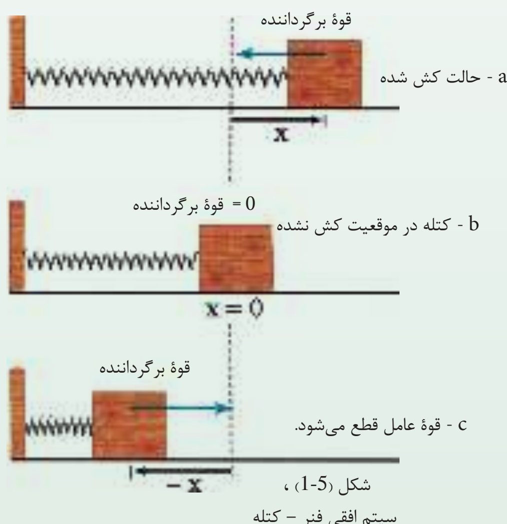
a- پیریود را b- فریکونسی را

2 - یک تجربه را دیزاین کنید که ثابت کند پیریود رقاصه، محض ارتباط به طول آن دارد نه به کتلهٔ کلولهٔ آویزان شده و دامنهٔ رقاصه.

1-5: قوهٔ تجدیدی یا برگرداننده (*Restoring Force*)

چطور می‌توانیم حرکت سادهٔهارمونیکی را به وجود بیاوریم؟ و فکتور یا عامل مشترک بین تمام سیستم‌های اهتزاز چیست؟

مثال: حرکت سادهٔهارمونیکی عبارت از اهتزاز یک کتلهٔ (m) به فنری که کتلهٔ آن قابل صرف نظر است، مطابق شکل اتصال داشته و روی سطحی که اصطکاک بسیار ناچیز دارد، می‌لغزد (به شکل 1-5)، می‌گوییم که کتله در موقعیت کش نشده (شکل *b*،1-5) موقعیت تعادل و یا سکون خود را دارد.



شکل (1-5) ، سیتم افقی فنر – کتله

هــرگاه یک قوهٔ عامل (F_a) بالای کتله عمل کند، کتله از موقعیت تعادلش به طرف راســت تعادل به اندازهٔ X بی‌جا می‌شــود. شــکل (1-5a). فاصله‌یی که فنر کش می‌شود، از قانون هوک حاصل شده می‌تواند. $F_a = -k\ x$

فاصلهٔ بی‌جاشده (X) به‌حیث فاصله‌یی که جسم از موقعیت تعادل خود حرکت کرده، تعریف شده است. به یقین که (F_a)، فنر را کش می‌کند و هم‌چنان از قانون سوم حرکت نیوتن یک قوهٔ مساوی ولی مخالف‌الجهت ارتجاعی (برگرداننده) توسط فنر بالای کتله عمل می‌کند که در نتیجه، آن را به طرف چپ می‌کشــاند. از آنجا که این قوه تمایل دارد کتله را به موقعیت اصلی اش برگرداند؛ این قوه را قوهٔ برگرداننده نامیده اند که آن را به (F_r) نشــان می‌دهیم:

$$F_r = -F_a = -k\ x$$

وقتی قوهٔ عامل (F_a) قطع شــود، قــوهٔ برگردانندهٔ ارتجاعی (F_r) یگانه قوه‌یی می‌باشــد که بالای (m) عمل می‌کند، و می‌خواهد کتله را به موقعیت تعادلش برگرداند. شکل $(1-5, c)$.

اکنون ما می‌توانیم از قانون دوم حرکت نیوتن شتاب کتله را دریافت کنیم:

$$m \cdot a = F_r = -k\ x$$

$$a = -\frac{k}{m}x \ ....3$$

معادلــهٔ (1-3) معادلهٔ شــتاب را به ما ارایه می‌کند که ما آن را پیــش از این تعریف نموده بودیــم. وقتی که قوهٔ (F_a) بالای کتله عمل نموده و آن را به طرف راســت حرکت می‌دهد، (F_a) یک کار (w) را انجام می‌دهد، یعنی انرژی را به سیستم انتقال می‌دهد. این انرژی در سیستم به‌حیث انرژی ارتجاعی پوتانشیل ذخیره می‌گردد.

وقتی که قوهٔ F_a قطع گردد، قوهٔ برگردانندهٔ کتله به موقعیت تعادل (F_r)، انرژی پوتانشــیل را بــا انجــام دادن کار به انرژی حرکی انتقال می‌دهد. وقتی‌کــه کتله به موقعیت اصلی اش (X = 0) برگردانده شــود، قوهٔ برگرداننده هم صفر می‌شود ($F_r = o$). کتله حرکتش را به طرف چپ بر اســاس قانون عطالت ادامه می‌دهد؛ تا این‌که قوهٔ $(-Kx)$ دوباره به‌وجود آید. امّا تا زمان‌که کتله به فاصلهٔ اعظمی بی‌جاشــده (X) برسد، با انجام دادن کار، انرژی حرکی به انرژی پوتانشیل تبدیل شده می‌رود. بعداً (F_r) دوباره کتله را به موقعیت تعادل می‌کشاند و مراحل ادامه پیدا می‌کند. پس قوهٔ برگرداننده قوه‌یی است که متناسب به فاصلهٔ بی‌جاشده مخالف آن عمل می‌کند؛ زیرا این دو خاصیت قوهٔ برگردانند، می‌تواند اهتزاز را به وجود آورد. قوهٔ برگرداننده همیشه مسؤولیت تولید اهتزازات را به عهده دارد.



سؤال

قوهٔ برگرداننده (از لحاظ مقدار) در رقاصه، تست تیوب مهتزز در آب و پردهٔ دایره چیست؟ توضیح بدارید.

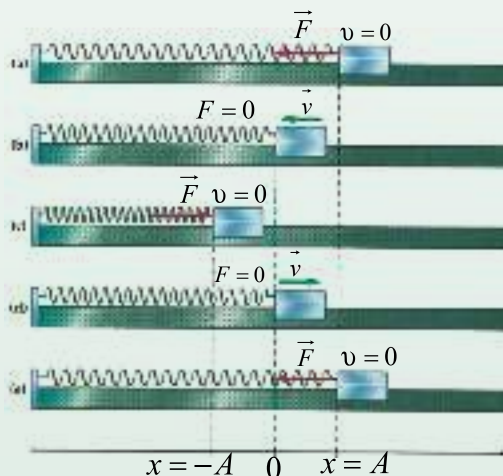
تمرین

ثابت کنید که $F_r = mg\frac{S}{L}$ است، وقتی که L طول رقاصه و S طول قوس نوسان رقاصه باشد.

1-6: ارایهٔ گرافیکی حرکت سادهٔهارمونیکی

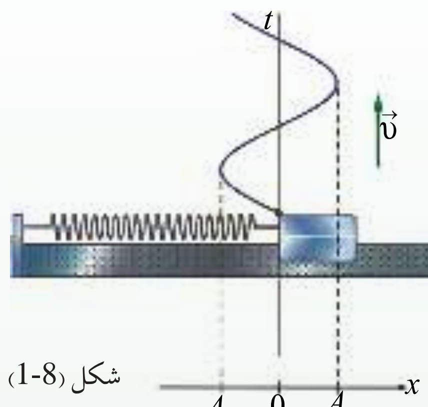
چطور می‌توانیم حرکت سادهٔهارمونیکی را ترسیم نماییم؟ چطور در یک سیستم کتله – فنر که پیش از این مطالعه نمودیم، فاصلهٔ X را در وقفه‌های مساوی زمان ارایه نموده می‌توانیم؟ بیایید از نقطهٔنظر فزیکی به این حرکت نظر اندازیم: کتلهٔ (m) در شکل $(1\text{–}6\,a)$ به سمت راست به فاصلهٔ $X = A$ کش گردیده و سپس رها می‌گردد. واضح است که کتله تنها تحت تأثیر قوهٔ برگرداننده حرکت می‌کند. بنابرآن چنان‌چه پیش از این بحث نمودیم، کتله به نوسان خود ادامه می‌دهد. اگر ما چندین تصویر فوری حرکت را در وقفه‌های مساوی زمان بگیریم و موقعیت‌های کتله را توسط این تصاویر نشانی کنیم، یک سلسلهٔ نقاط را به‌دست می‌آوریم، چنان‌چه در شکل (1-6) نشان داده شده است.

شکل، موقعیت‌های کتله را وقتی که به اطراف چپ و راست موقعیت اصلی تعادل روی محور X بین حدود $(+A)$ و $(-A)$ اهتزاز می‌کند، نشان می‌دهد. وکتورها اندازهٔ سرعت کتله را نشان می‌دهند. قیمت سرعت اعظمی‌است وقتی‌که در محل اصلی قرار دارد و صفر است وقتی که کتله در موقعیت‌های $\pm A$ قرار داشته باشد. واضح است که A امپلیتیود اهتزاز است و اگر زمان (t) را وقتی که کتله به موقعیت $+A$ باشد، صفر انتخاب کنیم، در آن صورت کتله در زمان $t = T$ دوباره به موقعیت $+A$ برمی‌گردد. چون T، پیریود حرکت است، پس حرکت تکرار می‌شود.



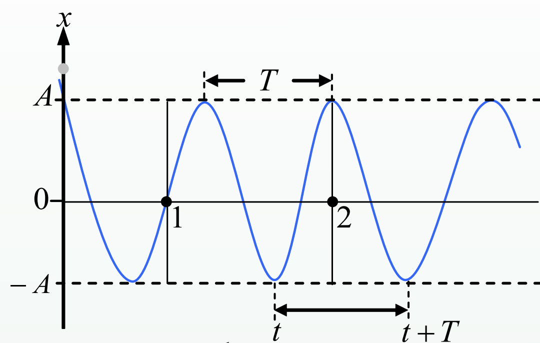
شکل (1-6)

این بســیار واضح اســت که متحول فاصلهٔ (X) با زمان، یک تابع کوساین است که در شکل (1-7) آن را دیده می‌توانید. ولی اگر متحول سرعت را نظر به زمان چنان‌چه در شکل (1-6) دیده می‌شود ارایه نماییم، منحنی یی؛ مانند: شکل (1-8) را به دست خواهیم آورد.



شکل (1-8)

منحنی توسط پنسل با کش شدن فیته‌یی که تحت کتلهٔ مهتزز قرار دارد، ترسیم شده می‌تواند.



شکل (1-7)

سؤال

1- با استفاده از معادلهٔ (3 – 1) ارایهٔ گرافیکی شتاب ساده‌هارمونیکی را ترسیم نمایید.

2- آیا می‌توانیم از تابع ساین برای ارایهٔ حرکت ساده‌هارمونیکی استفاده کنیم؟ توضیح دهید.

3- اگر کتله به یک کتلهٔ بزرگ‌تر تبدیل شــود، چه تأثیری بالای فریکونســی اهتزاز سیســتم کتله - فنر وارد خواهد کرد؟ دلایلی که جواب شما را تقویت می‌کند، بنویسید.

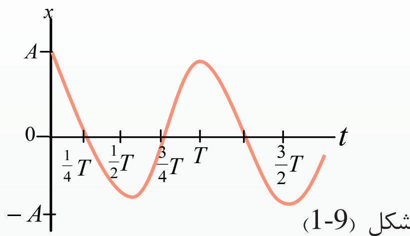
1-7: معادلهٔ حرکت ساده‌هارمونیکی

اکنون واضح گردید که معادله‌یی که حرکت ســاده‌هارمونیکی را تشریح کرده می‌تواند، باید پیریود آن یک باشــد. پس مــا می‌توانیم موقعیت ذرهٔ اهتزازکننده، در هر لحظه را توســط معادلهٔ $X = A \cdot \cos\ (\omega t + \varphi)$..... 4 به دســت آوریم. معادلــهٔ فوق یک معادلهٔ خیلی مهم است. این معادله رابطهٔ بین دو متحول (موقعیت x و زمان t) را ارایه می‌دارد. با استفاده از این معادله، موقعیت ذرهٔ اهتزازکننده، را در هر زمان داده شــده تعیین کرده می‌توانیم. از آنجا که A، ωو φ ثابت هستند، پس $(\omega t + \varphi)$ فاز حرکت می‌باشد، زیرا قیمت آن طبیعت حرکت را برای ذره تعیین می‌کند. این معادله مقادیر و سمت‌های موقعیت، سرعت و شتاب را که به طور دوام‌دار در حال تغییر هستند، به‌ما می‌دهد.

A عبــارت از امپلیتیود بوده و قســمت اعظمی‌فاصلهٔ بی‌جا شــده از موقعیت اصلی (تعادل) می‌باشد که پیش از این دربارهٔ آن بحث صورت گرفت.

φ عبارت از فاز ثابت (یا فاز اولیه) بوده و تعلق به حالت‌های اصلی (آغازی) دارد.

در شــکل (1-9) در لحظه‌یی $t = o$، $X = A$ می‌باشــد. با وضع نمــودن قیمت t به معادلهٔ (1-4)، داریم:



شکل (1-9)

$$A = A \cdot \cos(0 + \varphi)$$

از این معادله به آسانی می‌توان استنباط کرد که:

باید $\cos\varphi = A/A = 1 \Rightarrow \varphi = 0$ باشد.

بنابــرآن: بــرای حرکتی که در شــکل (1-6) توضیح گردید، تابع حرکت ســادهٔهارمونیکی، یعنی: $X = A \cdot \cos\omega t$ به دست می‌آید.

بــه طور مثال: یک شــخص مشــاهده‌اش را از نقطهٔ O یا $X = 0$ در یک سیســتم کتله - فنر که در شــکل $(1-9)$ به مشــاهد می‌رســد آغاز می‌کند، چنین معنــی می‌دهد که در لحظه‌یی $(t = o) \Rightarrow (X = o)$ بوده که با وضع کردن قیمت‌ها به معادلهٔ (1-4) نوشته کرده می‌توانیم:

$$0 = A \cdot \cos(0 + \varphi)$$

$$\cos\varphi = 0 \Rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2}$$

بنابرآن برای شخص مشاهد، تابع عبارت است از:

$$x = A \cdot \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

مســلماً هر حرکت ســادهٔهارمونیکی قیمت خاص φ خود را که متعلق به قیمت X در زمان $t = 0$ می‌باشد، دارد.

فریکونسی زاویه‌یی (ω) چیست؟

سیســتم کتله – فنر را در نظر بگیرد، ما می‌دانیم که هرگاه یک اهتزاز مکمل در سیســتم صورت بگیرد، در این صورت دو حالت می‌تواند وجود داشته باشد:

1 - ذرۀ مهتزز بعد از یک اهتزاز مکمل به موقعیت اولی‌اش برمی‌گردد، صرف نظر از این‌که از کدام موقعیت به مشاهدۀ آن آغاز نموده ایم. ذره از هر نقطه‌یی که به اهتزاز آغاز کند بعد از یک اهتزاز مکمل، دوباره به همان نقطه برمی‌گردد. [به تعریف اهتزاز مکمل، عنوان (1-3) مراجعه کنید و کوشش کنید آن را به زبان خود تشریح نمایید]. چنین معنی می‌دهد که قیمت امپلیتیود بازهم تغییر نکرده و X همان قیمت موقعیت اولی $(X_i = X_f)$ را دارد.

2 - ذره بــرای یک اهتزاز مکملّ خود به زمان مســاوی به پیریود (T) ضرورت دارد، که در واقع این تعریف حقیقی پیریود می‌باشد.

بنابرین: $x_f(t+T)$ (امپلیتیود در موقعیت اخری) $= x_i(t)$ (امپلیتیود در موقعیت اولی)

$$A\cos(\omega t+\varphi) = A\cos\omega(t+T)$$

برای آسان ساختن آن، فرض می‌کنیم $\varphi = 0$ است، پس می‌توان نوشت:

$$\cos(\omega t) = \cos(\omega t+\omega T)$$

از توابع مثلثاتی می‌دانید که اهتزازها در دوران هر 2π تکرار می‌شــوند؛ بنابرآن $\omega T = 2\pi$ و یا $\omega = \frac{2\pi}{T}$ است.

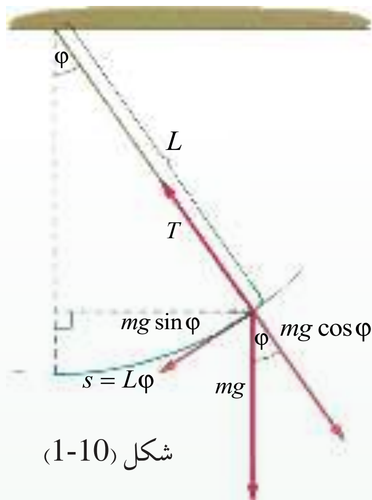
ω عبارت از فریکونسی زاویه‌یی حرکت سادۀهارمونیکی می‌باشد. تجارب نشان می‌دهد که فریکونسی سیستم کتله - فنر توسط رابطۀ ذیل به دست می‌آید:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

پیریود چیست؟

اکنون می‌خواهیم پیریود یک حرکت ســادۀهارمونیکی را دریافت کنیم. شکل (10-1) یک رقاصۀ ســاده و قوه‌های عامل بالای کتله (گلولۀ کوچک) را نشــان می‌دهد. وزن کتله به دو قوه به اســتقامت‌های طول تار (L) روی محور شعاعی (قوۀ اصطکاک قابل صرف نظر است) و محور تانجانت (میل مماس) مطابق شکل (10-1) تجزیه شده است.

قوۀ کشش تار (f_t) توسط قوۀ مرکبۀ $mg\cdot\cos\varphi$ خنثا و $mg\sin\varphi$ به‌حیث قوۀ حرکت دهنده عمل می‌کند. چون این قوه همیشه به مقابل سمت بی‌جا شده مواجه می‌باشد، بنابرین به‌حیث قوۀ برگرداننده عمل می‌کند. پس می‌توان گفت که حرکت رقاصه، یک حرکت سادۀهارمونیکی است و $F_r=-mg\cdot\sin\varphi$ (قوۀ برگرداننده). اگر زاویۀ φ را بسیار کوچک در نظر بگیریم، $\sin\varphi\approx\varphi$



شکل (1-10)

بوده و چون φ به رادیان اندازه می‌شود، پس قوۀ برگرداننده مساوی به $-mg\varphi$ است. از جانب دیگر ما می‌دانیم که $\varphi=\frac{S}{L}$ به رادیان می‌باشد. بنابراین: $F_r=-mg\frac{S}{L}=-\left(\frac{mg}{L}\right)S$

اکنون واضح شد که این یک قوۀ برگرداننده است.

از مقایسه کردن این سیستم با سیستم کتله – فنر که در آن $F_r=-kx$ بود، ما به آسانی دیده می‌توانیم که $\left(\frac{mg}{L}\right)$ در رقاصه، عدد ثابت بوده و حیثیت k را در سیستم کتله - فنر دارد و از آنجا که در سیستم کتله – فنر:

$$\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}\Rightarrow k=\omega^2\cdot m$$

پس در رقاصۀ ساده: $\frac{mg}{L}=\omega^2 m$

که در نتیجه: $\omega^2=\frac{g}{L}\Rightarrow\omega=\sqrt{\frac{g}{L}}$

چون برای یک اهتزاز مکمل $\omega=\frac{2\pi}{T}\Rightarrow\frac{2\pi}{T}=\sqrt{\frac{g}{L}}$

پس برای زمان یک پیریود نوشته کرده می‌توانییم: $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$



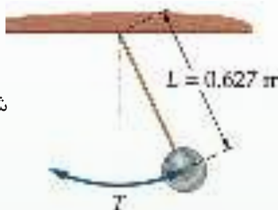
سؤال

1. پیریود رقاصهٔ ساده را به دست آرید.

2. در شکل (1-11) که یک حرکت سادهٔهارمونیکی را نشان می‌دهد. دریافت کنید:

a- پیریود اهتزاز را

b- فریکونسی اهتزاز را



شکل (1-11)

3. یک سیستم کتله – فنر در حال اهتزاز است. موقعیت کتله در هر لحظه‌یی کیفی زمانی عبارت از تابع $x = 0,04 \cdot \cos(\frac{83t}{F_r})$ می‌باشد. دریافت کنید:

a- امپلیتیود را

b- پیریود را

c- موقعیت کتله در زمان $t = 0.1s$ را

1-8: رابطه بین حرکت دایره‌یی و حرکت سادهٔهارمونیکی

پستون در ماشین موترها پایین و بالا حرکت می‌کند، در حالی‌که تایرها دور می‌خورند. رابطهٔ بین حرکت سادهٔ هارمونیکی و حرکت دایره‌یی چگونه است؟ فعالیت ذیل را انجام دهید:



فعالیت

مواد مورد ضرورت: موتور برای حرکت دورانی، گلولهٔ کوچک، دسک مدور، گروپ و پرده.

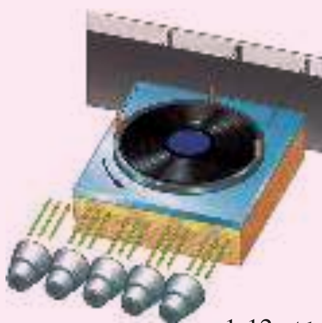
طرزالعمل:

1. گلوله را به یک سیخ محکم نمودهٔ مطابق شکل (1-12) سیخ را روی دسک محکم کنید.

2. دسک را به موتور نصب کنید.

3. گروپ را روشن نموده، کوشش کنید که سایهٔ گلوله را روی پرده بیندازید.

4. موتور را به دوران آورده، شرح دهید که روی پرده چه را مشاهده می‌کنید؟



شکل (1-12)

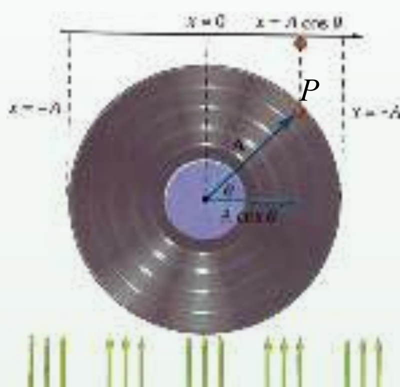
شاید به آسانی یافته بتوانید که حرکت سایهٔ گلوله در روی پرده، یک حرکت سادهٔهارمونیکی است.

وقتی‌که گلوله می‌چرخد، موتور مرتسم حرکت آن را روی پرده به ما می‌دهد. پس می‌توانیم به نتیجه برسیم که:

حرکت سادهٔهارمونیکی عبارت از مرتسم حرکت یکنواخت دایره‌یی بالای قطر دایره‌یی است که حرکت یک بعدی در آن واقع می‌شود.

بیایید به این نتیجه‌گیری نگاه عمیق‌تر بیندازیم: شکل(1-13) یک ذرهٔ (m) را در حرکت منظم دایره‌یی با یک سرعت زاویه‌یی $\omega = \frac{\varphi}{t}$ نشان می‌دهد

و شعاع مساوی به وکتور A می‌باشد. در هر لحظه‌یی زمان (t)، موقعیت زاویه‌یی ذرهٔ (m) عبارت از $(\omega t + \varphi)$ می‌باشد. (φ)، زاویهٔ آغازین یا زاویهٔ فاز (زاویهٔ بین موقعیت و کتور $\vec{A}$ و محور X) می‌باشد.



شکل (1-13)

بیایید مرتسم A را به روی محور X ترسیم نماییم.

از تصویر به وضاحت دیده می‌شود که که در هر موقعیت اندازهٔ آن $[A \cdot \cos(\omega t + \varphi)]$ بوده و ما آن را $x(t)$ می‌نامیم که $X_{(t)} = A\cos(\omega t + \varphi)$، و این به طور دقیق همان معادلهٔ (4.....) است که در گذشته به تفصیل دربارهٔ آن بحث نمودیم.

وقتی‌که ذرهٔ (m) به محور y می‌رسد، $(\omega t + \varphi) = \frac{\pi}{2}$ بوده و مرتسم $\vec{A}$ صفر می‌باشد، و این کاملاً مانند حالتی در سیستم کتله - فنر می‌باشد که در آن کتله دوباره به نقطهٔ اولی اهتزاز بر می‌گشت.

کوشش کنید که حرکت دایره‌یی را تصور نموده، مرتسم آن را با حرکت سادهٔهارمونیکی مقایسه نمایید. نتایج خود را بنویسید.

سؤال

حرکت یک نقطهٔ کیفی را روی پردهٔ یک بادپکه چگونه شرح داده می‌توانید. برای نوشتن تابعی که این حرکت را تشریح نماید به چه چیز ضرورت دارید؟

موضوع برای مباحثه:

دربارهٔ رقاصهٔ ساعت، ساختمان آن، میزان (adjust) شدن آن و این‌که چگونه می‌توانیم رقاصه‌یی با طول ثابت داشته باشیم تا در طول یک سال، هم در زمستان و هم در تابستان نوسان نماید؛ یک تا دو صفحه معلومات جمع‌آوری کنید و آن را در صنف برای هم‌صنفان‌تان بخوانید.

خلاصهٔ فصل اول

- اهتزازها حرکت‌هایی اند که به دو طرف موقعیت تعادل جسم، خود به‌خود تکرار می‌شوند.
- حرکت سادهٔ‌هارمونیکی یک حرکت پیریودیک بوده و به شکل تابع کوساین (cos) ارایه شده می‌تواند.
- قوهٔ برگرداننده، یگانه عامل و یا سببی است که منجر به تولید اهتزاز می‌شود.
- حرکت سادهٔ‌هارمونیکی به زبان ریاضی این طور افاده می‌گردد:

$$X = A\cos(\omega t + \varphi)$$

- فریکونسی یا تواتر زاویه‌یی برای سیستم کتله – فنر، $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ و برای رقاصهٔ ساده $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$ می‌باشد.

سؤال‌های فصل اول

1. برای هر یک از سؤال‌های ذیل جواب صحیح را انتخاب کنید:

الف: طول یک رقاصهٔ ساده 10m است، پیریود آن عبارت است از:

$a-$ $3.14s$ $\quad$ $b-$ $6.38s$

$c-$ $10s$ $\quad$ $d-$ $1s$

ب) برای دو چند ساختن پیریود یک رقاصهٔ سادهٔ دارای طول L، لازم است تا طول آن را:

a- دو چند نماییم $\quad$ b- نصف نماییم

c- چهار چند نماییم $\quad$ d- چهارم حصه نماییم

ج) سرعت در حرکت سادهٔ‌هارمونیکی به قیمت اعظمی‌خود می‌رسد وقتی‌که:

$a-$ x اعظمی گردد. $\quad$ $b-$ x قیمت اصغری را به‌خود بگیرد.

$c-$ x صفر گردد. $\quad$ $d-$ b و c هر دو صحیح اند.

د)یک ذره با امپلیتیود 12cm از یک نقطه که دارای موقعیت و کتوری 12cm است، شروع به اهتزاز می‌کند. ثابت فاز φ عبارت است از:

$\frac{\pi}{2}$ .a $\frac{3\pi}{2}$ .b π .c $\frac{\pi}{4}$ .d

2. یک ذره در حالت نوسان بوده و موقعیت آن در هر لحظه‌یی زمان توسط تابع $X_{(t)} = 0.02\sin(400t + \frac{\pi}{2})$ داده شده است. دریافت کنید:

a- فریکونسی حرکت را b- پیریود حرکت را

c- امپلیتیود حرکت را d- موقعیت ذره را در لحظه‌یی $t = 0{,}3\sec$

3. یک سیستم کتله – فنر دارای فریکونسی $5Hz$ است. هرگاه ثابت فنر $K = 250\frac{N}{m}$ باشد، کتله را حساب کنید.

4. هرگاه در یک سیستم کتله – فنر، $m = 0{,}5kg$ بوده و 60 اهتزاز را در 4 ثانیه تکمیل نماید، دریابید:

a- فریکونسی را b- ثابت فنر را

c- انرژی اعظمی‌پوتانشیل را در صورتی که امپلیتیود، 3cm باشد.

5. افاده‌های ذیل را تعریف کنید:

a- اهتزازهای کامل b- پیریود c- فریکونسی

d- ثابت فاز e- حرکت پیریودیک

6. هرگاه کتلهٔ $0.6kg$ به اندازهٔ 4cm کش شده و رها گردد، و ما محاسبهٔ وقت را از موقعیت تعادل آغاز نماییم، در آن صورت:

a- شکل این تمرین را رسم نمایید. b- قیمت‌های f و T را در صورتیکه $k = 300\frac{N}{m}$ باشد، حساب کنید.

c- امپلیتیود چند است؟ d- تابعی را بنویسید که حرکت را تشریح نماید.

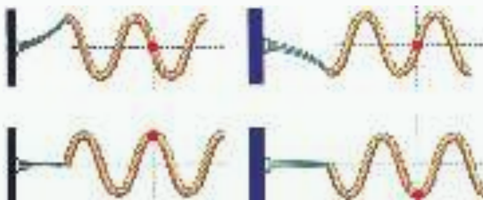
7. طول یک رقاصهٔ ساده 0.25m است، پیریود آن را دریابید. اگر این رقاصه به مهتاب برده شود، در آنجا پیریود آن چند خواهد بود؟ در نظر داشته باشید که شتاب سقوط آزاد در سطح مهتاب، $\frac{1}{6}$ شتاب سقوط آزاد در سطح زمین می‌باشد $(g_m = \frac{1}{6}g)$.

8. کدام شرایط باید مهیا گردد تا یک حرکت سادهٔهارمونیکی داشته باشیم؟

9. آیا می‌توانیم حرکت یک قمر مصنوعی را به مثابهٔ یک حرکت سادهٔهارمونیکی مطالعه کنیم؟ چطور؟ تشریح نمایید.

امواج و حرکت آنها





علم فزیک قانونمندی حرکات مختلف جهان مادی را بررسی می‌کند. ساینس‌دانان از این مطالعات به نفع بشریت استفاده می‌کنند. یکی از این حرکت‌ها، حرکت نوسانی است که در فصل قبلی مطالعه نمودیم. در این فصل، بر اساس حرکت نوسانی، حرکات مختلف موجی را بررسی می‌نماییم. همچنان در این فصل، انواع موج‌ها را از جوانب مختلف از نظر ویژه‌گی‌ها فزیکی آن‌ها مطالعه می‌کنیم. چون فزیک موجی پدیده‌های میخانیکی، نوری، برقی، هسته‌یی و حرارتی را در بر دارد، کوشش می‌کنیم که این موضوع را با مثال‌های ساده روشن نماییم.

2-1: موج چیست و چند قسم است؟

حرکت موجی به آن حرکت گفته می‌شود که ذرات اهتزازی، انرژی حرکی خویش را به صورت دوام‌دار به ذرۀ مجاور داده و آن‌را به نوسان می‌آورد. این عملیه در محیط متجانس و استقامت مقابل ادامه پیدا می‌کند، تا زمانی که با تصادم به یک مانع، انرژی خود را از دست داده و در محیط جذب شود. هر موج ویژه‌گی‌ها مشخص دارد و آن عبارت از طول موج، فریکونسی، دامنۀ اهتزاز ذرات و سرعت می‌باشد. امواج از نظر ویژه‌گی‌های فزیکی به دو بخش تقسیم شده است:

1. امواج میخانیکی.
2. امواج الکترومقناطیسی.

یک تعداد مشخصات معین فزیکی در هر دو نوع امواج موجود است؛ به طور مثال: موج در محیط متجانس به خط مستقیم منتشر می‌گردد. هر موج، طول موج فریکونسی و پیریود مشخص دارد. هر موج سرعت انتشار خاصی دارد که به کثافت محیط انتشار مرتبط می‌باشد. موجودات زنده می‌شنوند و می‌بینند، این پروسه‌ها و میکانیزم شنیدن صداها و دیدن اشیا همه ویژه‌گی‌ها موجی دارند. به همین قسم امواج روی آب، موج‌هایی که از زلزله برمی‌خیزند و دیگر پدیده‌های طبیعی، شکل‌هایی از امواج اند.

به همین سبب، ساینس‌دانان از قانون‌مندی‌های طبیعت در تخنیک استفاده نموده و آن را در خدمت انسان‌ها قرار می‌دهند.

آیا فکر کرده اید که امواج میخانیکی و الکترومقناطیس چه تفاوتی با یک‌دیگر دارند؟



فعالیت

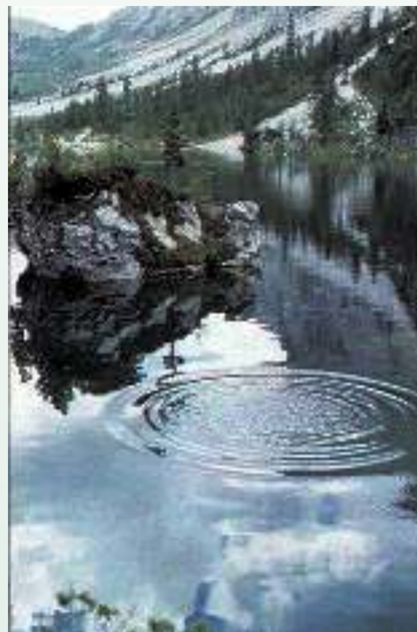
شاگردان در صنف به سه گروپ تقسیم گردیده و مثال‌هایی از امواج میخانیکی و الکترومقناطیسی را ارایه کرده و در حضور معلم بر روی تخته بنویسند.

معلم فعالیت هر گروپ را ارزیابی نموده و از شاگردان بپرسد که چگونه به این مثال‌ها رسیده اند؟

اکنون به ترتیب، ابتدا امواج میخانیکی و بعد امواج الکترومقناطیسی را بررسی می‌نماییم.

2-2: امواج میخانیکی

اگر در یک قسمت یک محیط متجانس اخلال وارد شود، پس در مالیکول‌ها «یا ذرات» این محیط قوه‌های کشش به وجود می‌آید و این قوه‌ها بدون این‌که موقعیت قسمت‌های محیط را تغییر بدهد، به ساختارهای مادی مجاور خود انرژی می‌دهند و در نتیجه موج در محیط منتشر می‌گردد. در طبیعت، امواج میخانیکی در دندها و آب‌های ایستاده به وضاحت مشاهده می‌شود.



شکل (2-1-2)

در یک محیط متجانس، سرعت موج میخانیکی در رابطهٔ $x = v \cdot t$ صدق می کند. می‌بینید که در این رابطه، فاصلهٔ انتشار طول موج تابع وقت به شکل خطی می‌باشد. پس استقامت انتشار، یک شکل خطی را دارد.

چگونه‌گی انتشار امواج میخانیکی، به کثافت و ویژه‌گی‌ها فزیکی محیط ارتباط دارد.

اگر اخلال محیط به‌شدت انجام گردد، امواج به وجود آمده بسیار بلند و عمیق می‌باشد. موضعی‌که اخلال در آن به وجود می‌آید، منبع انتشار موج نامیده می‌شود.

امواج میخانیکی در رابطه با جهت انتشار و چگونه‌گی اهتزاز اجزای محیط، به سه بخش تقسیم گردیده است که امواج طولی، امواج عرضی و موج‌های ایستاده نامیده می‌شوند.



فعالیت



شکل (2-2)،
منظرۀ قسمتی از امواج در ظرفی‌که نصف آن از آب پر شده باشد

شاگردان به چند گروپ تقسیم گردند و به هر گروپ ظرفی که نصف آن از آب پر باشد همراه با دو سنگ داده شود. سنگچل‌ها یکی سبک و دیگری آن سنگین انتخاب شود. شاگردان ابتدا در ظرف، آب ایستاده را مشاهده کنند که هیچ نوع موجی در آن معلوم نمی‌شود. بعد شاگردان سنگ کوچک را به طور عمودی به صورت سقوط آزاد در ظرف رها نمایند و بلندی و عمق امواج تولید شده را مشاهده کنند.

هنگامی‌که موج‌ها از بین رفت، سنگ کلان‌تر را به طور آزاد در آب پرتاب نمایند. شاگردان و معلم دربارۀ بلندی و عمق موج‌ها در هر دو حالت باهم گفتگو کنند.

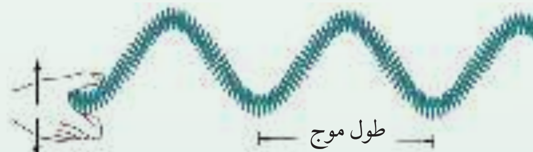
به همین ترتیب، می‌توانیم در طبیعت، چگونه‌گی امواج میخانیکی را بیشتر بررسی نماییم و از آن‌ها مثال‌های گوناگون ارایۀ کنیم.

2-3: امواج عرضی

چه فکر می‌کنید؛ این‌ها چگونه امواجی اند؟

دو مفهوم اهتزاز را در نظر بگیرید، سمت انتشار موج و موقعیت مربوط به اهتزاز موج. با دانستن ویژه‌گی‌های یاد شده، نوعیت موج میخانیکی (عرضی یا طولی) تفکیک شده می‌تواند.

در شکل مقابل، امواج عرضی را در یک فنر تحت بررسی قرار می‌دهیم. حلقۀ اولی فنر را توسط دست بلند می‌کنیم، یعنی به حالت عادی فنر اخلال وارد می‌نماییم.



شکل (2-3)

هرگاه این حلقه را به سرعت رها کنیم، این حلقۀ فنر به حلقه‌های کناری خویش انرژی انتقال می‌دهد و حلقه‌های فنر را به شکل بالا و پایین اهتزاز می‌دهد. در این‌جا اهتزاز حلقه‌ها به جهت افقی امواج عمود است. یعنی در امواج عرضی سمت اهتزاز به جهت انتشار موج‌ها عمودی است. به طور معمول امواجی که از اثر تکان دادن فنر به دو طرف چپ و راست نیز به وجود می‌آید، عرضی بوده و مشابه گراف تابع ساین (sin) می‌باشد.

2-4: امواج طولی

در شـــکل امواج طولی دیده می‌شـــود. در این‌جا یا چند حلقهٔ قســـمت انتهایی فنر را به هم نزدیک نموده ســـپس آن‌را به ســـرعت رها می‌کنیم و یا این‌که عوض این کار، به یک انتهای فنر ضربه وارد می‌نماییم تا حلقه‌های تحت ضربهٔ فنر به یک باره‌گی، یکی به دیگری نزدیک (جمع) و از هم دور شوند.



شکل (2-4)

در نتیجه آن موجی که در فنر به وجود می‌آید، به طور افقی به امتداد طول فنر حرکت می‌کند. در حالی‌کـــه ســـمت اهتزاز حلقه‌هـــای فنر به استقامت انتشار موج موازی است، عملیهٔ جمع شـــدن و رها شـــدن حلقه‌ها، اهتـــزاز فنر را با انتشار موج به گونهٔ موازی نشان می‌دهد.

جمع شدن و انتشار این حلقه‌های فنر را در شکل (2-4) مشاهده کرده می‌توانید.

از توضیحات فوق دربارهٔ امواج طولی و عرضی گفته می‌توانیم که هم در امواج عرضی و هم در موج طولی، وقتی‌که اهتزاز در حلقه‌ها ایجاد می‌گردد، این هتزازات سبب می‌شود که قوه به حلقهٔ کناری انتقال یابد. به همین ترتیب در نتیجهٔ نوســـان‌ها، انرژی توسط موج‌ها انتقال می‌یابد که این موضوع در بخش اهتزازات به صورت مکمل تشریح شده است.

قابل یادآوری است بگوییم که انتشار زلزله‌ها هم عرضی و هم طولی بوده می‌توانند. موج‌های زلزله از عمق زمین بلند شده و بعد به روی زمین می‌رسند. نظر به نوع موج زلزله و سرچشمهٔ آن، سرعت انتشار زلزله‌ها با هم متفاوت است. جدول ذیل نظر به عمق زمین، اندازهٔ سرعت انتشار امواج عرضی و طولی را در زلزله‌ها نشان می‌دهد.

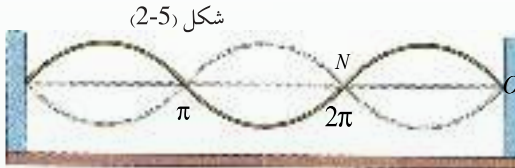
عمق زمین به (km)	سرعت موج عرضی به (km/s)	سرعت امواج طولی به (km/s)
$0-20$	3.3	$5.4-5.6$
$20-45$	3.5	$6.25-6.75$
1300	6.9	12.5
2400	7.5	13.5

2-5: موج‌های ایستاده یا ساکن

فکر کرده می‌توانید که امواج ساکن چگونه موج‌هایی هستند؟ در پهلوی موج‌های عرضی و طولی پیش از این مطالعه نمودیم، حال در مورد موج‌های ساکن معلومات به دست می‌آوریم.

به امواج ساکن به‌خاطری این نام داده شده است، که مانند امواج دیگر در محیط انتشار نمی‌شوند.

شکل (2-5)



این امواج از اثر دو موجی که دارای فریکونسی مساوی بوده و یکی در جهت مخالف دیگر انتشار می‌یابد، به وجود می‌آیند.

تارهای مرتعش آلات موسیقی مثل؛ دوتار، سه تار، تنبور و رباب هنگام نواختن (ساز کردن) بر اساس تولید همین امواج ساکن کار می‌کنند. درین آلات دست راست، تار را به حرکت میآورد و دست چپ بر روی پرده حرکت می‌کند، تا که آواز به وجود آمده توسط دست راست، موج برابر با فریکونسی دست چپ را به روی پرده تولید نماید. در سازها این پروسه دوام‌دار و مغلق است؛ زیرا انگشتان هر دو دست بسیار به سرعت حرکت می‌کنند. در شکل (2-5) می‌بینید که در یک ریسمان چگونه از دو موج عرضی، موج ساکن به میان آمده است. ما می‌توانیم نمونهٔ موج ساکن را به واسطهٔ موجی‌که از یک ریسمان به وجود می‌آید، نمایش دهیم، ولی شرط این است که ضربهٔ دست در سر ریسمان یکی پی دیگر چنان امواج متواتر را به وجود آورد که فریکونسی آن‌ها با هم مساوی و یکی از دیگر به اندازهٔ π تفاوت فاز داشته باشد. «فاز، زاویه‌یی است که اندازهٔ پیش بودن و عقب بودن ذرهٔ اهتزازی را ارایهٔ می‌دارد و این موضوع پیش از این بررسی گردیده است». وقتی‌که موج اولی از انتهای ریسمان بسته شده انعکاس نموده و برمی‌گردد و به نقطهٔ N می‌رسد، موج پی در پی بعدی به نقطه‌یی که ریسمان در آن محکم گردیده می‌رسد و با موج اولی در نقطهٔ N یک گره یا عقده را به وجود می‌آورد و در نتیجه، در بین خطوط منحنی ON و NO بطن می‌سازد. گره‌ها و بطن‌ها در امواج تا آن وقت به وجود می‌آیند که انرژی حرکی و پوتانسیالی امواج در محیط غیرمنظم شده و جذب گردد.

2-6: خصوصیت امواج

چه فکر میکنید؟ امواج و حرکت آن‌ها به واسطهٔ کدام مشخصات از یک‌دیگر جدا و تفکیک می‌شوند؟ فرق بین حرکات موجی و حرکت‌های اهتزازی در چیست؟

برای جواب به ســؤالات طرح شده، باید بدانیم که یک موج مشخص، مانند یک اهتزاز برای شناســایی اش ویژه‌گی‌های مانند: طول موج، فریکونســی موج، وقت تناوب و یا زمان موج واحد (پیریود)، مودل ریاضی و معادلهٔ حرکت یا انتشار موج دارد، که در این‌جا هر یک آن‌ها را به طور مشخص مطالعه می‌کنیم.

2-7: طول موج

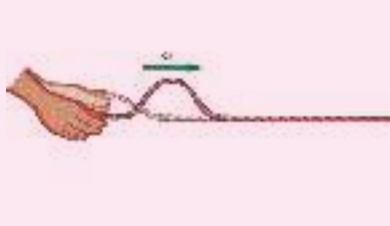
طول موج مشــخصهٔ شناخت یک موج است و واحد اندازه‌گیری آن، همان واحد اندازه‌گیری طول اســت. موج‌ها از قیمت‌های بســیار کوچک مانند انگســتروم A° گرفته الی قیمت‌های بسیار طویل مثل کیلومتر (Km) طول دارند. از نگاه نوعیت، هم امواج عرضی و هم موج‌های طولی هر دو دارای طول موج هستند.

آیا در امواج الکترومقناطیسی و میخانیکی نیز موضوع طول موج‌ها قابل بحث است؟ بلی.



فعالیت

با این فعالیت شــما از درس‌های گذشــته آشنا هستید. در این فعالیت یک ریســمان طویل را بر یک دیوار و یا پهلوی تختهٔ ســیاه به طرف مقابل بسته می‌کنیم و بعد از هر قطار صنف دو شــاگرد را انتخاب نموده، ســر آزاد ریسمان را به دو شــاگرد اولی می‌دهیم تا آن‌را ابتدا از بالا به پایین تکان دهند. شــاگردان صنف در این حالــت چگونه‌گی امواج به وجود آمده در ریسمان را توضیح دهند.



شکل (6-2)

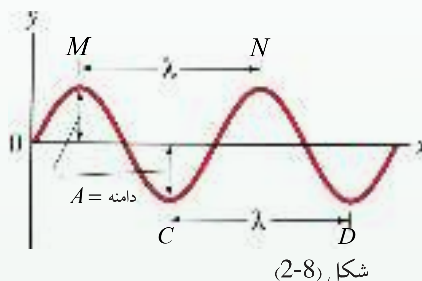
بعد از آن، از دو شاگرد دیگر بخواهید که سر آزاد ریسمان را از راست به چپ تکان دهند و بر شکلی که تشکیل شده، بحث و ابراز نظر نمایند.

شاگردان در هر دو حالت روی طول امواج تشکیل شده بحث نمایند و سپس طول موج‌ها را خودشان در روی اشکال مقابل اندازه کنند.



شکل (7-2)

حالا بیایید با هم این شـــکل‌ها را تحلیل نماییم. معادلهٔ ریاضی حرکات موجی، تابع sin یا cos بوده و مربوط به این است که مبدأ انتشار موج از کدام نقطهٔ مسیر این تابع sin حساب می‌گردد. اگر مبدای انتشار یک موج برای یک ماده را تحت بررسی قرار دهیم و باز در مسیر انتشار، چنان یک نقطهٔ مادی را نزدیک به نقطه دومی‌تعیین نماییم که این دو نقطهٔ نزدیک به هم‌دیگر از نگاه داشـــتن انرژی با هم مســـاوی باشند، در آن صورت کوتاه‌ترین فاصله بین این نقطه‌ها که یک مستقیم است، به نام طول موج یاد می‌شود. یا به عبارت دیگر، فاصله‌یی را که موج در زمان یک پیریود طی می‌نماید طول موج می‌گویند. طول موج به حرف لاتین (λ) نشان داده می‌شود.



شکل (2-8)

در طبیعـــت، طول موج‌هـــای مختلف و متفاوت وجـــود دارد، می‌توانیم چنین امواج را به صورت مصنوعـــی نیز ایجاد نماییم کـــه طول موج‌های آن‌ها با هم مساوی ویا مقابل هم باشند.

2-8: فریکونسی

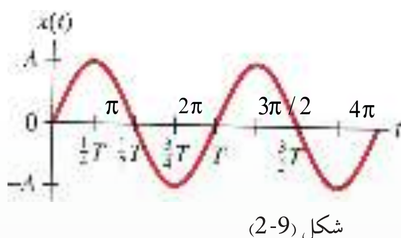
طوری‌که گفتیم، اندازهٔ تعداد اهتزازات موجی فی واحد وقت فریکونسی نامیده می‌شود، که با ســـمبول f نشان داده می‌شـــود. واحد اندازه‌گیری فریکونسی هرتز (Hertz) است که با ســـمبول (Hz) نمایش داده می شـــود. تمام امواج طبیعی الکترومقناطیسی و میخانیکی با همین واحد اندازه می‌شود.

2-9: پیریود

می‌دانیم که همه حادثات طبیعی در زمان صورت می‌گیرند، و هیچ پدیده‌یی احســـاس شده نمی‌تواند که خارج از فکتور زمان واقع شـــده باشـــد. موج‌ها هم در حقیقت عبارت از انتشار دوام‌دار حرکـــت اهتزازی روی یک خط اســـت. از طرف دیگر می‌دانیـــم که بین یک اهتزاز مکمل ســـاده روی قطر یک دایره و یک دور منظم یک جســـم متحرک بر روی محیط دایرهٔ مربوط همین قطر، یک ارتباط موجود است که پیش از این آن‌را بررسی نموده‌ایم.

حال اگر با ســـپری شـــدن زمان، یک تعداد رفت و آمد اهتزازات بر روی قطر دایره را با یک تعداد دوران‌ها بالای محیط دایره مقایسه نماییم، دیده خواهد شد که زمان اهتزاز مکمل در این دو حرکت و یا دوران یک‌سان بوده که به این زمان پیریود گفته می‌شود. به عبارت واضح تر وقتی که در آن، موج یک اهتزاز مکمل را انجام می‌دهد، پیریود نامیده می‌شود.

برروی شکل، ارتباط بین زاویه‌های محیطی دایره و پیریود را با سپری شدن زمان مورد بررسی قرار می‌دهیم. زاویه برای یک دوران مکمل، $\varphi = 2\pi$ بوده و وقت مربوط به این دوران، T می‌باشد. پس برای سرعت زاویه‌یی نوشته می‌توانیم که: $\omega = \frac{2\pi}{T}$ اگر به طور مشابه، این رابطه را برای موج بنویسیم.



شکل (2-9)

پس در حقیقت، سرعت اهتزاز موجی که بعد از یک پیریود T، بر طول یک موج λ از دو نقطهٔ هم‌فاز، عبور می‌نماید، عبارت از $v = \frac{\lambda}{T}$ است.

2-10: انعکاس موج میخانیکی

آیا موج‌های میخانیکی انعکاس می‌نمایند؟ یعنی پس از برخورد با مانع، دوباره به مسیر قبلی خود برمی‌گردند؟ اگر موج‌های آب دریا را به دقت دیده باشید، حتماً متوجه شده اید وقتی‌که موج‌های آب به ساحل دریا برخورد می‌کند، ابتدا به کناره‌های خشکه بلند رفته و بعد از تصادم با لب‌های دریا دوباره به شکل موج به طرف دریا، برمی‌گردد و بعد از تصادم با موج‌های تازه از بین می‌رود. به این حادثه که موج بعد از تصادم بازهم به شکل موج به طرف دریا می‌رود، انعکاس موج گفته می‌شود. انعکاس صدا، ثبوت روشنی برای پدیدهٔ انعکاس امواج میخانیکی می‌تواند باشد.



فعالیت

شاگردان در صنف به دو گروپ تقسیم شوند.

1. در اختیار گروپ اول یک ظرف نسبتاً کلان پر از آب قرار داده شود. نمایندهٔ گروپ داخل ظرف یک سنگچل کوچک را پرتاب نماید. شاگردان در ظرف پر از آب، حرکت موج‌های منتشره را مشاهده نموده و بعد از تصادم با کنار ظرف، نتیجه را در صنف گزارش دهند.

2. در اختیار گروپ دوم، ریسمانی قرار داده شود که نصف آن بسیار باریک و نصف دیگر آن نسبتاً ضخیم باشد. قسمت ضخیم ریسمان به یک دیوار و یا درخت محکم گردد. و سمت باریک ریسمان به‌خاطر تولید موج تکان داده شود. شاگردان مشاهده خواهند کرد که در حرکت موج تولید شده بعد از برخورد به قسمت ضخیم ریسمان، چه تغییری به وجود می‌آید؟



شکل (2-10)

از هر دو حالت فوق آشـــکار می‌شـــود که موج‌ها به همان محیطی که از آن انتشار می‌کنند، دوباره برمی‌گردند.
شـــاگردان باید بفهمند که در حالت انعکاس، محیط حرکت موج تغییر نمی‌کند، فقط موج، بعد از برخورد با یک مانع یا جسم سخت، دوباره به مسیر قبلی خود برمی‌گردد.

2-11: انکسار یا شکست موج میخانیکی

از ویژه‌گی‌ها موجی شعاع نوری که در صنوف گذشته مطالعه نمودیم، می‌دانیم وقتی‌که امواج نوری از یک محیط متجانس شفاف به محیط دیگر شفاف داخل می‌شوند، مسیر انتشارشان را در محیط دوم تغیر می‌دهند که به این عملیه، شکستن یا انکسار نور می‌گویند.
چه فکر میکنید؟ آیا در امواج میخانیکی نیز این عملیه صدق می‌کند؟ و یا خیر؟
بلی! ویژه‌گی‌ها موج‌های الکترومقناطیســـی شـــعاع نوری و موج‌های میخانیکی هر دو در این عملیه یک‌ســـان بـــوده، هنگامی‌که از یک محیط متجانس به محیـــط دیگر داخل می‌گردند، می‌شـــکنند و مســـیر اصلی خود را تغییر می‌دهند. باید بگوییم کـــه خواص امواج میخانیکی علاوه بر ســـاختار و کثافت محیط، به فشـــار محیط انتشـــار و پارامیترهای مربوط به آن هم ارتباط دارد که از تفصیل آن در این‌جا صرف نظر می‌نماییم.
رابطه بین ســـرعت، طول موج و فریکونســـی یک موج میخانیکی که به سرعت معین در یک محیط انتشار می‌نماید چنین ارایه می‌گردد: $\upsilon = \lambda \cdot f$
یک خصوصیت عمدهٔ این رابطه این است که سرعت تنها به طول موج ارتباط دارد و فریکونسی تغییر نمی‌کند. فرضاً سرعت یک موج مشخص را در دو محیط بررسی می‌نماییم.
رابطهٔ فوق را برای محیط اول این طور می‌نویسیم. $\upsilon_1 = \lambda_1 \cdot f$ و هنگامی‌که موج متذکره به محیط دوم که کثافت آن نسبت به محیط اول متفاوت است داخل شود، این طور می‌نویسیم:
$\upsilon_2 = \lambda_2 \cdot f$

هرگاه دو رابطهٔ آخری را با هم تقسیم نماییم، در آن صورت داریم که: $\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

رابطهٔ آخری نشان می‌دهد که در دو محیط متفاوت، نسبت سرعت‌ها با نسبت طول‌های موج مســـتقیماً متناسب است. تجارب نشان داده اســـت که وقتی میترولوژجیست‌ها در اتموسفیر حرکات موجی را بررسی می‌کنند، در پهلوی آن درجهٔ حرارت و فشار محیط‌های مختلف را نیز در نظر می‌گیرند.

2-12: تداخل

در اثر مطالعات و تحقیقات در جهان امواج، پدیده‌هایی دیده شده است که امروز با استفاده از آن‌ها در تخنیک سهولت‌های زیادی به وجود آمده است. زمان‌که در پروسهٔ انتشار امواج، یک بخش از موج‌های نشــر شــده با بخش دیگری تداخل می‌کنند، در این زمینه ساینس دانــان موفق گردیــده اند که ببیننــد، اول، موج‌ها یکی به دیگر چگونــه تداخل می‌کنند و پدیده‌های جدیدی‌که از این تداخل موج‌ها به دســت می‌آید یا آشــکار می‌گردد، بر مبنای کدام قوانین فزیکی اســتوار اند هرگاه موجی قســماً با موج دیگر یک‌جا شــود، به این عمل تداخل گفته می شود.

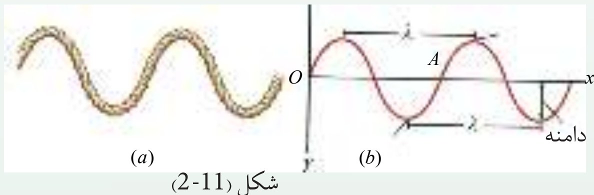
2-13: تابع انتشار موج

اگر ویژه‌گی‌ها فزیکی نقاط اهتزازی موج را به اســتقامت انتشــار آن و این نقاط را از منبع انتشــار موج با تابع زمان مشــخص کرده بتوانیم، به چنین تابعی، تابع خصوصیت اهتزازی موج گفته می‌شود.

پیش از این ذکر نمودیم که تابع موج ساده شکل $y = a \cdot \sin\varphi$ را دارد.

درین تابع φ, a و y کدام کمیت‌ها اند؟

در این‌جا φ زاویه‌یی است که در زمان اختیــاری (t) بــه ســرعت معین طی می‌گردد، البته بــا قیمت‌های مختلف t، موقعیت نقطهٔ اهتزاز را نظر به منبع موج (نقطهٔ O) مشخص می‌کنند.



شکل (2-11)

اگــر در رابطــهٔ فوق قیمت $\varphi = \omega t$ را نظر بــه موقعیت (O) وضع کنیم، پس نوشــته کرده می‌توانیم که: $y_o = a \cdot \sin\omega t$

و برای یک اهتزاز مکمل: $y_o = a \cdot \sin\frac{2\pi}{T} \cdot t$

در نظر می‌گیریم که نقطهٔ (O) یک اهتزاز کامل را انجام می‌دهد، بعد از ختم اهتزاز متذکره، نقطــهٔ اهتــزازی هم‌فاز به O یعنی نقطهٔ A با تأخیر مــدت زمان $t = T = \frac{\lambda}{v}$ به اهتزاز آغاز می‌نماید. در این‌جا فاصله بین نقاط اهتزازی O و A به اندازهٔ λ می‌باشــد و موج با ســرعت v توسط تبادل انرژی با ذرات مجاور محیط در نقطهٔ متذکره به اهتزاز آغاز می‌نماید.

بــه همین روش نقاط A' و غیره که نقطهٔ مجاور بــا تفاوت فاصله و تأخیر زمانی $T = \frac{\lambda}{\upsilon}$ از نقطهٔ مجاور دارد، انتشار موج به شکل اهتزازی آن ادامه می‌یابد.

اکنون می‌خواهیم موقعیت فزیکی اهتزازی یک نقطهٔ کیفی M را از نقطهٔ اهتزازی O حاصل نماییــم. به طور نمونه نقطهٔ M بــا تأخیر زمان $t_M = \frac{x}{\upsilon}$ از o به اهتزاز آغاز می‌نماید، در این حالت آغاز اهتزاز M عبارت از $(t - t_M)$ خواهد بود.

اگر قیمت t_M در محل مربوطه اش وضع گردد، خواهیم داشت که:

$$y_M = a \cdot \sin\frac{2\pi}{T}(t - t_M) = a\sin\frac{2\pi}{T}(t - \frac{x}{v}) = a\sin 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{T \cdot v})$$

با گذاشتن قیمت $\lambda = \upsilon \cdot T$ حاصل می‌نماییم که:

$$y_M = a \cdot \sin 2\pi\,(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda})$$

در این رابطه $2\pi\frac{x}{\lambda}$ را اختلاف فاز بین نقاط اهتزازی M و O می‌گویند.

رابطهٔ اخیر، موقعیت یک نقطهٔ اهتزازی کیفی را نظر به موقعیت (o) ارأیه می‌کند. هم‌چنان اگر هم‌فازهای مشــخص ......A, A' و نقــاط دیگر اهتزازی نظر بــه (o) را در نظر بگیریم، چنین موقعیت‌ها به واســطهٔ رابطهٔ $k\lambda$ حاصل شــده می‌تواند، به این شــرط که قیمت‌های $k = 1,2,........n$ را به خود بگیرد.

$k\,,\ k \neq 0$ ترادف نقاط اهتزازی را نشــان داده و عدد تام مثبت اســت. $k\lambda$، فاصلهٔ k نقطهٔ اهتزازی از (o) است.



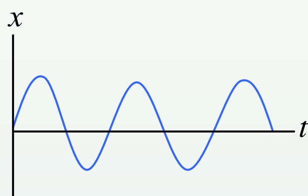
فعالیت

1. هر شــاگرد یک‌بار دیگر در کتابچهٔ خویش گراف ســاین موج را رسم نماید و سعی کند که در روی همین گراف، نقاط هم‌فاز دیگر را با هم مقایسه کند.
2. از رابطهٔ $y = a \cdot \sin(2\pi\frac{t}{T} - 2\pi\frac{x}{\lambda})$، مفهوم $2\pi\frac{x}{\lambda}$ را تعریف کنید.
3. معلم از دو نفر شاگرد بخواهد که در مورد فعالیت اجرا شدهٔشان و صحت آن، برای دیگر هم صنفی های شان صحبت کنند.

به همین قسم می‌توانیم انتشار ذرات موج را در موقعیت‌ها و حالات دیگر نیز مطالعه نموده و نقاط (ذرات) هم‌فاز را در آن‌ها تعیین نماییم. اما خواهید یافت که فاصلهٔ بین این ذرات اهتزازی هم‌فاز با هم مساوی و برابر با طول موج می‌باشد.

اکنون در نظر می‌گیریم که یک ذرهٔ اهتزازی از نقطهٔ (o) به اندازهٔ $\frac{\lambda}{2}$ فاصله دارد. فرض کنید این ذرهٔ اهتزازی در موقعیت c قرار دارد. و در حقیقت ذرهٔ اهتزازی c از o به اندازهٔ π تفاوت فاز دارد. وقتی ذرهٔ c یک اهتزاز مکمل را انجام می‌دهد و باز می‌خواهد اهتزاز جدید را آغاز نماید، پس درین وقت ذرهٔ c یکجا با آن به اهتزاز شروع می‌کند. فاصلهٔ نقطهٔ اهتزازی (o) الی c' به اندازهٔ $\frac{\lambda}{2}+\lambda$ است، و اگر این اهتزاز به نقاط دیگر، c'' و .... به همین ترتیب ادامه یابد، موقعیت اهتزاز این ذرات از نقطهٔ (o) به واسطهٔ افادهٔ $(2k+1)\frac{\lambda}{2}$ نشان داده می‌شود. درین‌جا k عدد مثبت ترادف اهتزاز ذرات است که عدد صفر در آن شامل است، یعنی: $k=0,1,2......k$

اگر $k=0$ شود، فاصله $\frac{\lambda}{2}$ و اگر $k=1$ گردد، پس این فاصله $\frac{3\lambda}{2}$ و به همین ترتیب، فاصله‌ها $5\frac{\lambda}{2}$، و .... می‌شود.



شکل (12-2)

توضیحات فوق در حادثهٔ تداخل دو موج در نظر گرفته می‌شود، زیرا می‌تواند ویژه‌گی‌های فزیکی آن‌را خوب‌تر بیان نماید.

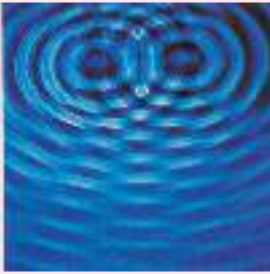
2-14: تداخل موج‌ها

پیش از این در مورد تداخل، کمی‌توضیحات داده شد. اکنون بگویید که هر دو موج کیفی می‌توانند با هم تداخل نمایند؟ و یا این‌که برای تداخل باید امواج میخانیکی شکل مشخص داشته باشند؟

برای ارایهٔ جواب به این سؤال، شرط اولی این است که باید دو منبع تولید امواج در یک محیط موجود باشند. دوم این‌که پیریود اهتزاز و دامنهٔ موج‌های ایجاد شده باید مساوی باشند.



فعالیت


شکل (2-13) تصویر امواج تداخلی روی پردهٔ سفید.

شاگردان به کمک معلم توسط تانک تموج (تولید کنندهٔ امواج)، موج‌ها را تولید نمایند. این امواج باید از دو منبع انتشار نمایند و وقتی‌که امواج تولید شده با هم تداخل می‌کنند، شاگردان این حالت را مشاهده و تشریح کنند.

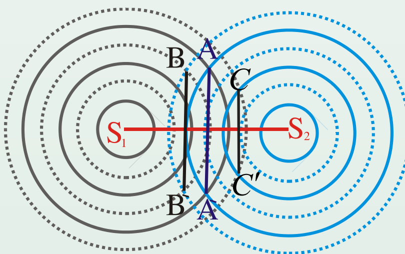
تانک تولید کنندهٔ امواج عبارت از یک ظرف شیشه‌یی پر از آب است که بالای چهار پایه قرار داده شده. در یک لب این ظرف که نزدیک به قسمت وسطی است، مطابق شکل وسیلهٔ ایجاد موج (موتور کوچک برقی و ضربه دهنده‌ها) محکم گردیده است، و هم‌چنان یک چراغ روشنی‌دهنده از بالای قسمت وسطی این ظرف آویزان شده. هنگامی‌که حادثهٔ تداخل صورت می‌گیرد، به واسطهٔ این چراغ روشن تصویر امواج روی پردهٔ سفیدی که تحت پایه‌ها قرار دارد، می‌افتد.

شاگردان مفکورهٔشان را از مشاهدات خویش با معلم و هم صنفی های شان در میان بگذارند و آن را تشریح کنند.

برای وضاحت حادثهٔ تداخل، در نظر می‌گیریم که s_1 و s_2 دو منبع امواج اند که هم‌زمان یک یک اهتزاز مکمل را انجام می‌دهند.

روی سطح آب توسط این منابع، امواج دایروی تولید می‌شود و به طور آشکار دیده می‌شود که این امواج تولید شده به شکل دایره‌ها یکی با دیگری تداخل می‌کنند. در یک اهتزاز مکمل موج‌ها یک‌بار بلند می‌روند و باز عمیق می‌شوند.

در شکل، قسمت‌های بلند اهتزاز به شکل دایره‌ها و قسمت‌های پایین آن به شکل دایره‌های نقطه چین نشانی شده‌اند.



شکل (2-14)

مطابق شکل در نقاط A و A' موج‌ها یکی به دیگر داخل می‌شوند. این موج‌ها عین فاز را دارا می‌باشند، و این نقاط تداخل حالت بلند بودن موج‌ها را نشان می‌دهند. همین طور دایره‌هایی که با نقطه‌چین نشانی گردیده اند، در موقعیت‌های B و B' یکی به دیگر داخل می‌شوند که این نقاط تداخل، حالت پایین بودن موج‌ها را نشان می‌دهند.

اما در جاهایی که محیط دایره‌های بدون نقطه با محیط دایره‌های نقطه‌چین که خصوصیت امواج ساکن را دارند، تداخل می کند، از نگاه فاز از هم متفاوت می‌باشند و از نتیجهٔ تفریق دامنه‌های اهتزاز، خنثا می‌شوند که حالت تداخلی تخریبی را نشان می‌دهند.

اگر این نقطه‌ها را به C و C' نشان دهیم و آن‌ها را به هم وصل نماییم، از اتصال آن‌ها یک خط منحنی به دست می‌آید. در رابطه با ذرات اهتزازی s_1 و s_2 بالای این منحنی، تمام نقاط اهتزازی موج از s_1 و یا هم به s_2 به اندازهٔ $\frac{\lambda}{2}$ فرق می کند، در حالی‌که خط‌های AA' و BB' بر خط s_1s_2 عمود می‌باشند. همچنان از نقطهٔنظر مفهوم فزیکی، ذراتی‌که بر خط AA' واقع اند، از نگاه دامنه در حالت جمع می‌باشند، که این حالت را تداخل تعمیری می گویند. در حالی‌که ذرات اهتزازی که برخط BB' واقع اند، نتیجهٔ حاصل جمع دامنه‌های اهتزاز به سمت پایین (منفی) می‌باشند.

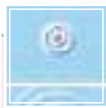
فرض می‌کنیم که دو منبع اهتزازی s_1 و s_2 در عین وقت به صورت منظم بر سطح هموار آب اهتزاز می‌نمایند و به روی آب در همهٔ جوانب یکی با دیگری تداخل می کنند، اگر مانند حالت قبلی تمام نقاط بلند اهتزازی را به همدیگر وصل نماییم و بعد ذرات اهتزازی ساکن را به صورت جدا وصل نماییم، در حقیقت به واسطهٔ این عملیه منظره‌یی را که در شکل گذشته توضیح گردیده است، به شکل حقیقی آن می‌بینیم. خط منحنی نقطه‌چین، نمایش محل هندسی اهتزاز اعظمی‌را نشان می‌دهد. امواجی‌که از منبع‌های s_1 و s_2 به این نقاط اهتزازی می‌رسند، دارای عین فاز می‌باشند. درین حالت نقاط اهتزازی، از منابع اهتزازی s_1 و s_2 در فاصلهٔ مساوی واقع اند یا مانند خطی که نقاط اهتزازی بالای آن واقع است، بر خط s_1s_2 عمود و به طور دقیق تنصیف‌کنندهٔ آن است، و یا این‌که تفاوت راه بین منابع و ذره‌های اهتزازی با ضریب تام طول موج‌ها (λ) مساوی است، یعنی:

$$d_2 - d_1 = k\lambda \ldots\ldots\ldots\ldots 1$$
$$(K = 0,1,2,3\ldots.)$$

آن خطوط سیاهی که در شکل ظاهر می‌شود، از محل هندسی آن نقاط اهتزازی به دست می‌آید که دامنهٔ اهتزاز آن‌ها یک‌دیگر را صفر می‌سازند. از این لحاظ، امواجی‌که به این محل تداخلی اهتزازی می‌رسند، یکی با دیگری فاز متقابل دارند. این بدان معنی است که تفاوت راه‌ها بین منابع اهتزازی s_1 و s_2 و این نقاط اهتزازی، با مضرب طاق نصف طول موج‌ها مساویست، یعنی:

$$d_2 - d_1 = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots 2$$
$$(K = 0,1,2,3\ldots.)$$

بــه طــور عموم، هنگامی‌که در یک زمان دو منبع امواج به عیــن پیریود اهتزاز کنند، حادثهٔ تداخل ظاهر می‌شــود. حادثهٔ تداخل را بر روی آب ایســتاده و یا در طناب‌ها و ریسمان‌ها به چشم سر دیده می‌توانیم. همچنان در امواج صدا نیز تداخل می‌توان احساس کرد.



فعالیت

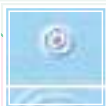
دو بلندگو را به یک آلهٔ تولید کنندهٔ صدا وصل کنید و هم‌زمان هر دوی آن‌ها را فعال نمایید. شاگردان کوشــش نمایند، موقعیت‌هایی را تفکیک نمایند که صدا در آن‌جاها یا بســیار بلند و یا هیچ شــنیده نمی‌شود.

جاهایی که صدا در آن بســیار بلند اســت، دامنهٔ اهتزاز ذرات صدا در یک سو جمع شده و یک‌دیگر را تقویت می‌کنند. و در نتیجه صدا بلند می‌شود. برعکس جاهایی‌که در آن صدا موجود نیست، دامنه‌های اهتزازی امواج یک‌دیگر را به شکل متقابل صفر می‌کنند.

باید خاطرنشــان ســازیم که پدیــدهٔ تداخل در امواج الکترومقناطیســی (نــور) نیز به وقوع می‌پیوندد، که آن‌را بعداً به بررسی خواهیم گرفت.

2-15: امواج صوتی

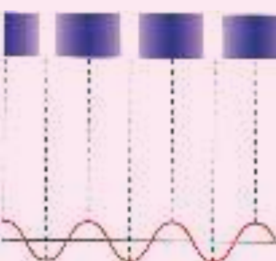
امواج صدا یک بخش مهم امواج میخانیکی را تشــکیل می‌دهد. موج‌های صدا به طور طولی منتشــر می‌گردند، به این معنا که اســتقامت انتشــار موج‌ها و اهتزاز ذراتی که انرژی آواز را انتقال می‌دهند، با هم موازی و یا منطبق هستند.



فعالیت

شاگردان در صنف به چند گروپ تقسیم شوند. فنرهای نازک و پنجه‌هــای صوتی برای آن‌ها توزیع گــردد. به کمک معلم پنجه‌های صوتی بــه صدا در آورده شــود. ابتدا معلم و ســپس شــاگردان این تجربــه را تکــرار نمایند. معلم شکل موج اهتزاز صدای پنجهٔ صوتی را بر روی تخته رســم کند و شاگردان آن‌را تحلیل و بعد توضیحات‌شان را به معلم ارایه دارند.





شکل (2-15)

در چهار اطراف ما صداهای زیادی تولید می‌شـود ولی تنها صداهایی که به طور نورمال بین فریکونســی‌های 20Hz و 20000Hz قرار دارند، برای ما قابل شنیدن اند. آوازهایی که بیشتر از 20000Hz دارد، ســاحۀ صداهای قابل شنیدن بلند گفته می‌شوند. در حالی که صداهای دارای فریکونســی کمتر از 20Hz، ســاحۀ صداهای قابل شنیدن پایین نامیده می‌شوند. این حدود برای شــنیدن گوش‌های نورمال انســان اســت، اما حیوانات دیگر مثل ماهیان، زنده جان‌هــای متحرک و غیره و حتا یک تعداد بته‌ها نیز قابلیت احســاس صداها را دارند که از انســان‌ها فرق دارد. تجارب نشان داده است که حیوانات موج‌های زلزله را بیشتر از انسان‌ها احســاس می‌نمایند و به همین ســبب اســت که قبل از رســیدن امواج زلزله، مسلسل صدا می‌کشــند و از جاهای خود بی‌جا می‌شــوند. هنگامی که در جنوب غرب آسیا در سال 2008 عیسوی حادثۀ سونامی به وجود آمد، شاهدان حادثه، حقایق چشم دید خود را این طور بیان نمودند که حیوانات شــهر کولمبو، قبل از رسیدن امواج آب، خود را به جاهای بلند رسانیده بودنــد. برای انســانها امواج صداها از اهتزاز تارهای صوتی حنجرۀ آن‌ها بلند می‌شــود، و در حالت عادی به واســطۀ حرکت اهتزازی مالیکول‌های هوا بــه طرف هدف (جانب مقابل) به شــکل امواج طولی انتشار می‌یابد. موج‌های صوتی، مانند امواج طولی دیگر انعکاس و انکسار می‌نماینــد. اگــر در بین دو کوه (دره) و یا زیر گنبد بلند به آواز بلند صدا بزنیم، صدای خود را دوباره خواهیم شنید. شاگردان در این رابطه مثال‌های عملی دیگر بدهند.

2-16: صدا و مشخصات آن

از جمله نعمات بی‌شمار خداوند(ج) برای آسانی زنده‌گی موجودات زنده، حواس پنج‌گانه است، که یکی از آن‌ها حس شــنوایی است. حس شنوایی، صدای بسیاری از پدیده‌های طبیعت را از طریق گوش‌ها به واسطۀ امواج طولی میخانیکی به میکانیزم گوش می‌رساند و بعد از آنجا ذریعۀ سیستم عصبی، به مغز انتقال می‌دهد و بعد از حکم مغز، موجودات زنده عکس‌العمل خویش را نشان می‌دهند.



شکل (2-16)

حس شنوایی از جمله حواس بسیار مهم بــوده کــه در جریان پروســۀ مغلق عملیۀ شــنیدن صدا و مفهوم فزیکی آن، مشــخصات صدا، انتشار آن در محیط، بلندی و پســتی صدا، ســرعت صوت و غیره نقش بســیار ارزنده‌یــی را اجرا می‌کند و ســتون فقرات تکنالوژی امروزی به خصوص تخنیک الکترونیک را می‌سازد.

چرا مرد و زن از آوازشان شناخته می‌شوند؟ چرا بعضی از صداها بر گوش انسان‌ها اثر خوش و مطبوع ندارد و بعضی هم اثر نامطبوع بر گوش‌ها وارد می‌کنند؟ آیا موج‌های نور و صدا به عین سرعت انتشار می‌یابند؟ در انتشار صدا، محیط چه نقشی دارد؟
بعضی جوابات این سؤال‌ها را خودتان از درس‌های گذشته پیدا کرده می‌توانید؛ اما اکنون باید دانست که موج‌های صوتی نیز مانند امواج نوری، در سرحد دو محیط غیرمتجانس می‌شکنند، یعنی انکسار می‌نمایند.

2-17: **تولید نمودن امواج صوتی**

می‌دانیم که صدا در نتیجهٔ اهتزاز اجسام به وجود می‌آید. ممکن است منبع صدا، یک جسم جامد، جسم مایع و یا هم گاز باشد. ببینید وقتی‌که زنگ برقی مکتب و یا زنگ تاوه مانند مکتب هنگام تفریح به صدا درآورده شود، از سبب به اهتزاز آوردن مالیکول‌های هوا حس شنوایی شاگردان و معلمین متأثر گردیده و همه از صنوف بیرون می‌آیند و با آغاز شدن ساعت درسی، تمام آنان به صنوف می‌روند. هم‌چنان امواج صوتی را می‌توان از اهتزاز مالیکول‌ها در داخل ستون‌های هوایی آلات موسیقی و به اهتزاز آوردن پنجهٔ صوتی نیز تولید نمود.



فعالیت

شاگردان به گروپ‌ها تقسیم گردند و هر گروپ به واسطهٔ یک حلقهٔ تار نسبتاً ضخیم، یک پنسل را از قسمت وسطی آن به تار گره نموده و توسط هر دو دست خویش دو طرف حلقهٔ تار را محکم گرفته و طوری آن‌را بدور محور (پنسل) بچرخانند که تار هم با آن بچرخد و به دورش تاب بخورد. اکنون تار را به سرعت و احتیاط در هنگام چرخیدن به عقب کش نمایید، خواهید دید که پنسل به یک چرخک تبدیل گردیده و آوازی از آن بلند می‌شود.


شکل (2-17)

در حقیقت، خود چرخک منبع تولید صدا است و در مجاورت خویش مالیکول‌های هوا را به اهتزاز می‌آورد و صدای آن اهتزازها به پردهٔ گوش می‌رسد و از آنجا با میکانیزم مخصوص گوش‌ها به مغز می‌رسد و مغز عکس‌العمل متقابل را نشان می‌دهد.

یک‌بار دیگر باید بگوییم که ساحهٔ فریکونسی‌های قابل شنیدن، بین $20Hz$ و $20{,}000Hz$ است؛ اما می‌توانیم امواج بیرون ازین ساحه را نیز به کمک وسایل تخنیکی، به این ساحه داخل نماییم که به این وسایل، تقویه کننده‌ها (Amplifiers) گفته می‌شود. یک مثال بسیار واضح این است که اگر سویچ رادیو را فعال و گوتک صدا را دور دهیم، صدا از رادیو شنیده می‌شود و هرگاه به اصطلاح صدای آن‌را بلند نماییم، معنا می‌دهد که صدا تقویه می‌گردد. به همین ترتیب، اگر صدای رادیو بسیار بلند باشد، می‌توانیم با کم نمودن شدت اهتزاز، آن‌را به ساحهٔ مناسب قابل شنید داخل نموده و به خوبی آن‌را بشنویم.

2-18: سرعت صوت

پیش از این در رابطه با سرعت امواج، معلومات ارایه نمودیم. اکنون بگویید که سرعت صوت مربوط به کدام فکتورها اســت؟ چگونه موج‌های صوتی در محیط انتشار می‌یابند؟ در این‌جا ابتدا سرعت امواج صوتی را در هوا و پس در محیط‌های جامد و مایع بررسی می‌نماییم.

2-19: سرعت صوت در هوا

می‌دانیم که امواج صوت در محیط الاستیکی (ارتجاعی) منتشر می‌گردد. خصوصیت الاستیکی محیط گازی به خواص دینامیکی آن مربوط است. پارامترهای دینامیکی محیط گازی به درجهٔ حرارت، فشــار و حجم ارتباط دارد. در محیط گازی حالت اهتزاز ناحیه‌یی به واســطهٔ همین پارامترها مشــخص می‌گردد. در گازهای کامل، سرعت صوت ذریعهٔ فورمول لاپلاس به دست می‌آید و آن این است:

$$\upsilon = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$$

در این فورمول، P فشــار گاز، ρ کثافت گاز و $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ از نسبت ظرفیت مخصوصهٔ حرارتی گاز با فشار ثابت C_p و حجم ثابت C_v به‌دست می‌آید. حرارت مخصوصهٔ گازها با فشار ثابت و حجم ثابت برای گازهای مختلف متفاوت است. اما در صورتی‌که تعداد مالیکول‌ها در حجم مساوی باشد، این نسبت برای همهٔ گازها تقریباً مساوی است. برای گازهای دو اتمی‌که هوا از آن ترکیب یافته است، این کمیت (γ)، 1.40 است؛ در حالی‌که برای گازهای یک اتمی‌این قیمت یک اندازه بلندتر و برای گازهای سه اتمی این قیمت یک اندازه پایین‌تر است.

از جانب دیگر، برای گازهای خیالی، از قوانین ترمودینامیک می‌فهمیم که هرگاه گاز خیالی تحت فشار P، دارای حجم v و درجهٔ حرارت T باشد و سپس درجهٔ حرارت را به T_1 انتقال دهیم، پس از فشــار، قیمت P_1 و حجم همین گاز قیمت V_2 را به خود اختیار می‌نماید. ولی ارتباط بین این‌ها همیشه این شکل را دارا می‌باشد:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1}$$

به همین شکل، اگر درجهٔ حرارت، قیمت‌های T_2 و بالآخره قیمت Tn را به خود بگیرد، پس رابطهٔ فوق شکل ذیل را به خود می‌گیرد:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \ldots\ldots = \frac{P_n \cdot V_n}{T_n} = cons\tan t$$

یعنی با تغییر نمودن قیمت‌های T، قیمت‌های فشار و حجم نیز تغییر می‌نماید؛ ولی نسبت مربوطهٔ فوق در بین آن‌ها ثابت می‌ماند که این کمیت ثابت به نام ثابت گازها یاد می‌شود و با سمبول R نشان داده می‌شود. درین صورت می‌توان رابطهٔ فوق را چنین نوشت:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \ldots\ldots\ldots\ldots = \frac{P_n V_n}{T_n} = R$$

در ایــن جا n از یک الی عــدد n قیمت‌ها را به‌خود می‌گیرد. اگر در حجم مربوطه اندازهٔ گاز به قدر m مالیکول گرام موجود باشد، پس نوشته می‌توانیم که:

$$\frac{p \cdot v_m}{T} = R \Rightarrow P = \frac{RT}{V_m}$$

اگر این قیمت P را در رابطهٔ $\upsilon = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$ وضع نماییم، پس نوشته می‌توانیم که:

$$\upsilon = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\rho \cdot V_m}}$$

اگر برای کتلهٔ M گاز، رابطهٔ کثافت را بنویسیم، این شکل را خواهد داشت:

$$\rho = \frac{M}{V_m}$$

با وضع نمودن این قیمت برای سرعت نوشته می‌توانیم:

$$\upsilon = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\frac{M}{V_m} \cdot V_m}} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$$



فعالیت

سرعت صوت در هوا را که حیثیت گاز کامل را دارد، در صفر درجهٔ سیلسیوس معلوم کنید. شاگردان باید بفهمند که صفر درجهٔ سیلسیوس با درجهٔ حرارت مطلقه کدام تقابل را دارد؟ می‌دانیم که: در این رابطه $\gamma = 1{,}4$ و $R = 8.31 \times 10^3 \dfrac{J}{kmol \cdot K}$، در حالی‌که در همین درجهٔ حرارت قیمت M عبارت از $M = \dfrac{20gr}{mol}$ است.

پس بعد از حل رابطه، شاگردان قیمت سرعت صوت در هوا را به دست خواهند آورد.

2-20: سرعت صوت در اجسام جامد و مایع

می‌دانیم که سرعت انتشار موج در یک محیط، به ارتجاعیت و ساختمان مالیکول‌های آن محیط ارتباط دارد. چون در اجسام سخت، این خصوصیت در رابطه با قوه‌های کشش بین مالیکول‌ها به خوبی آشکار است و در مایع‌ها و گازها این قوه‌ها و ارتجاعیت به ترتیب کم می‌شود، پس انتشار امواج در اجسام سخت، سریع‌تر و در اجسام مایع و گاز کُند و کُندتر صورت می‌گیرد.

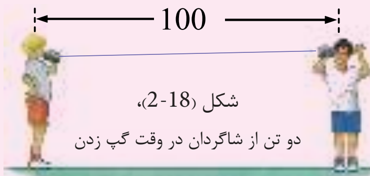
به همین وضاحت اکتفا کرده، تیزی صوت در محیط‌های مختلف را در جدول ذیل مقایسه نموده می‌توانید:

اجسام (محیط‌ها) و حالت فزیکی آنها	تیزی به m/s
هوا در 20 درجهٔ سلسیوس	343
هوا در صفر درجهٔ سلسیوس	331
هیلیوم در صفر درجهٔ سلسیوس	965
هایدروجن در صفر درجهٔ سلسیوس	1284
آب خالص در صفر درجهٔ سلسیوس	1402
آب خالص در 20 درجهٔ سلسیوس	1482
پلاستیک	2680
مس	5010
شیشهٔ پایرکس	5640
فولاد	5960
گرانیت	6000
المونیم	6420



فعالیت

شــاگردان در یک میدانی و یا صحن مکتب به دو گروپ تقســیم گردند و باز به هر گروپ 100 متر تار با قطی خالی گوگرد توزیع شود. تار مطابق شکل به قطی‌های گوگرد بسته شود؛ از یک سر قطی یک شــاگرد با لفظ بلی، شــاگرد مقابل را که سر دیگر قطی با گوش او در ارتباط است صدا بزند، و همزمان با آن ساعت را نشانی کند.



شکل (2-18)،
دو تن از شاگردان در وقت گپ زدن

شــاگرد دومی هم لحظه‌یی که در سر دیگر تار صدا شنیده می‌شود، وقت را با ساعت نشانی کند؛ اگر طول تار بر اندازۀ زمان رســیدن صدا به ســر دیگر تار تقســیم شود، سرعت انتشار صوت در تار به دست می‌آید.

مناقشه: چون اندازه نمودن زمان در لحظه‌یی بسیار کوچک به آسانی قابل اندازه نیست، پس با استفاده از رابطــۀ ($v=\frac{x}{t}$)، معلم این میکانیزم را به طور علمی‌برای شــاگردان توضیح دهد و روی تعیین زمان انتشار صوت در تار مناقشه نماید.

2-21: شدت صوت

قبل از این‌که در رابطه با شــدت صوت بحث نماییم، بهتر خواهد بود که در مورد مشخصات صــوت یک اندازه روشــنی بیاندازیم. صداماننــد هر پدیدۀ موجی دیگر، انعکاس و انکســار می‌کند؛ ولی در ارتباط با شنیدن، صوت به دو نوع صوت‌های آهنگ‌دار و صوت‌های بی‌آهنگ تقسیم می‌گردد. این صوت‌ها درعرصۀ ساز و آواز در موسیقی از همدیگر متفاوت اند.

آوازهای آهنگ‌دار به صوت‌هایی گفته می‌شــود که بالای گوش‌ها یا حس شنوایی انسان اثر مطبوع وارد می‌کند، در حالی‌که صوت‌های بی‌آهنگ برای حس شــنوایی انســان خوش‌آیند نبوده و احســاس خوب را به میان نمی‌آورد. آوازها در قســمت داخلی گوش انســان یا بلند احساس می‌گردد و یا هم پایین‌تر، که این بلندی و پستی به شدت صدا مربوط است. شدت صوت عبارت از آن مقدار انرژی اســت که در یک ثانیه به ســطحی به اندازۀ یک سانتی‌متر مربع که به استقامت انتشار موج عمود باشد، وارد می‌شود.

البته شدت صوت به منبع انتشار انرژی و گوش هم ارتباط دارد. از همین جا گفته می‌توانیم که شدت صوت یک کمیت فزیکی است که محض به گوش مربوط نیست. در حالی‌که بلندی و پســتی صدا، یک پدیدۀ فزیولوژیکی بوده که هم به حساســیت گوش و هم به انرژی صوت منتشــر شــده ارتباط دارد. شــدت آواز به محیط اهتزازی و ذرات اهتزازی آن محیط، دامنۀ اهتزاز و فاصلۀ منبع تولید صوت وابسته می‌باشد.

استفاده از عملیهٔ ریزونانس در اندازه نمودن سرعت صوت

عملیهٔ ریزونانس صدا در وسایل و سامان‌آلات ساز و آواز قابل استفاده است.

ریزونانس، آن عملیه‌یی است که در اثر آن، موج‌های صوتی خود را هم‌آهنگ می‌نمایند. برای فهم خوب‌تر موضوع فوق، در لابراتوارها آله‌یی ساخته شده که طول موج‌ها را به وسیلهٔ یک هم‌آهنگ‌کننده (صوت تولید شده توسط پنجهٔ صوتی) معلوم می‌کند.

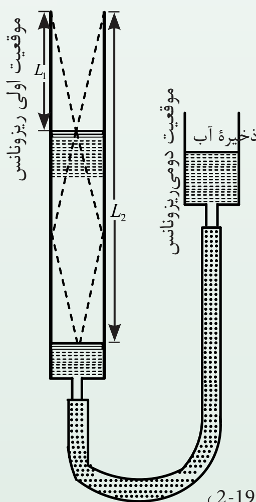
اگر فریکونسی صدای پنجهٔ صوتی f باشد، پس سرعت اهتزاز صوت تولید شده در هوا توسط رابطهٔ ذیل معلوم می‌گردد: $\upsilon = f \cdot \lambda$

همچنان ما می‌توانیم که در نل‌های شیشه‌یی، ارتفاع ستون هوا را با اضافه نمودن و کم کردن آب در نل تحت مشاهده قرار دهیم (این فعالیت را در لابراتوار انجام داده می‌توانید). در ابتدا ذخیره را در وضعیتی قرار می‌دهیم که نل سمت چپ به طور کامل از آب پُر شود، سپس آب را از نل آهسته آهسته کم می‌کنیم، تا این‌که آواز پنجهٔ صوتی به حالت ریزونانس برسد. پنجه را به طرف باز نل که هوا به آن نمی‌رسد، گرفته و می‌بینیم که آب در نل ازین صدا متأثر می‌گردد، یعنی: $\frac{\lambda}{4} = L_1$

درینجا L_1 ارتفاع هوا در نل است؛ در حالی‌که c عدد صحیح و λ طول موج صدا است. ارتفاع هوا را در نل تا آن وقت زیاد می‌نماییم که برای بار دوم ریزونانس واقع شود. برای بار دوم ریزونانس داریم که:



$$\frac{3\lambda}{4} = L_2$$



شکل (19-2)

اگر هر دو رابطهٔ فوق را از یک‌دیگر تفریق نماییم، پس نوشته می‌توانیم که:

$$\frac{3\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4} = L_2 - L_1$$

$$\frac{\lambda}{2} = L_2 - L_1 \Rightarrow \lambda = 2(L_2 - L_1)$$

اگر L_2 و L_1 را از تجربه اندازه نماییم، پس می‌توانیم که λ را حساب کنیم. هرگاه در رابطهٔ $\upsilon = f \cdot \lambda$ قیمت λ را وضع نماییم، پس نوشته می‌توانیم که:

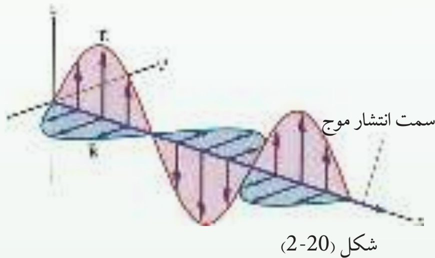
$$\upsilon = f \cdot \lambda = 2f(L_2 - L_1)$$

$$\upsilon = 2f(L_2 - L_1)$$

2-22: امواج الکترومقناطیسی

پیش از این موج‌ها را به دو بخش تقسیم نمودیم؛ موج‌های میخانیکی و امواج الکترومقناطیسی، که درمورد امواج میخانیکی بحث مکمل صورت گرفت. اکنون می‌خواهیم بر موج‌های الکترومقناطیسی، به ویژه بر شعاع نوری و بر خصوصیت موجی آن را توضیح دهیم.

امواج الکترومقناطیسی در نتیجهٔ یک مناقشهٔ طولانی در رابطه با طبیعت نور و چگونه‌گی آن، که نور موج است و یا ذره؛ توسط مکسویل یک عالم انگلیسی مطرح گردیده است.
این‌که نور موج است و یا ذره؛ یا هر دو و یا هیچ یک از آن، در بحث نور تشریح گردیده است.



شکل (2-20)

در این‌جا بر اساس خصوصیت موجی نور پروسه‌های تداخل، تفرق و قطبی شدن بررسی می‌گردد. باید بگوییم که نور، آن پدیدهٔ موجی است که طول موج آن در فاصلهٔ بسیار کوچک از $4000\,A^{\circ}$ الی $4500\,A^{\circ}$ قرار دارد. سرعت نور در هوای آزاد $300000\,km/s$ است و تمام امواج الکترومقناطیسی همین خصوصیت را دارند.

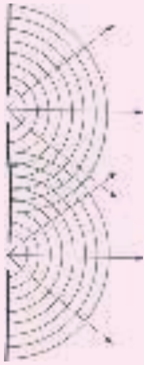
2-23: تداخل شعاع نوری

در درس‌های قبلی گفته شد که شعاع‌های نوری از منبع‌های مربوط، به شکل موجی انتشار می‌نمایند و حادثهٔ تداخل موجی شعاع نوری تحت شرایط خاص این امواج صورت می‌گیرد. تداخل موجی شعاع نوری هنگامی‌صورت می‌گیرد که شعاع نوری کوهرنت باشد؛ یعنی ارتباط فاز و امپیلتیود اشعه‌یی که تداخل می‌نماید، باید یکسان و مساوی باقی بماند و از طرف دیگر طول موج‌ها یعنی λ با هم مساوی و اشعهٔ مونوکروماتیک (Monochr-matic) دارای رنگ و فریکونسی معین باشد.
تحت چنین شرایط، در طبیعت این چنین منابع موجی نوری پیدا شده نمی‌تواند. پس ساینس‌دانان از روش‌ها و وسیله‌های مختلف سعی می‌نمایند تا منابع دارای ویژه‌گی‌ها فوق را ایجاد کنند. ما در این‌جا از یک میتود خاص که به واسطهٔ یونگ و فرنیل به‌کار برده شده؛ تداخل را به شکل تحلیلی آن بررسی می‌نماییم.



فعالیت

شاگردان با توجه به درس‌های گذشته به واسطهٔ امواج میخانیکی، شکل تداخلی را در گروپ‌های خویش به خاطر آورده سپس با تشابه و استفاده از این تصویر، تداخل شـعاع نـوری را در مقابل صنف و در حضور معلم توضیح نمایند.



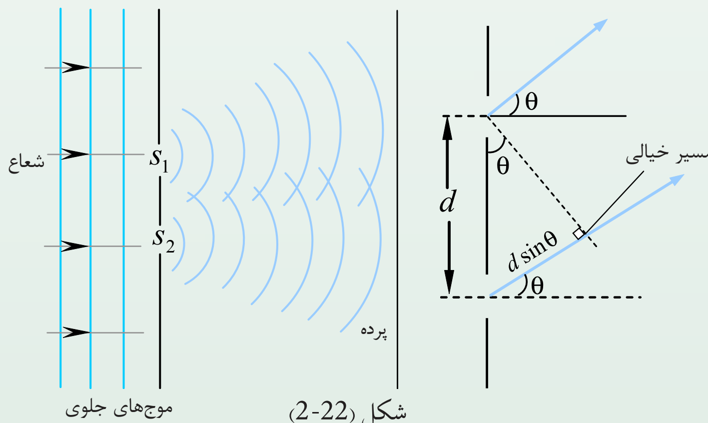
شکل (2-21)،
شکل تداخلی شعاع نوری

انتشار موجی شعاع نور شکل تابع sin را دارد. فاز یک نقطهٔ اهتزازی این تابع را که از فاصلهٔ اهتزاز x قیمت φ را دارد، این طور ارزیابی می‌نماییم:

$$\varphi = \frac{2\pi x}{\delta}$$

درین رابطه، δ تفاوت راه بین آن دو شعاع موجی نوری است که فاز آن‌ها 2π می‌باشد.

در حالی‌که برای یک نقطهٔ کیفی مهتزز، این فاز، φ و تفاوت راه نوری، x است؛ مطابق شکل یـک منبـع نوری S را در نظر می‌گیریم و این شـعاع کوهرنت را از دو منبع مجازی s_1 و s_2 عبور می‌دهیم. در مقابل منبع حقیقی s یک جسـم مکدر را که دو سـوراخ بسـیار کوچک داشـته باشـد و فاصله در بین آن‌ها ثابت باشـد، قرار می‌دهیم. در حقیقت از هر یک ازین سوراخ‌ها که منابع نوری s_1 و s_2 اند، موج‌های نوری منتشر می‌گردد و امواج منتشر شده در یک فاصلهٔ معین ازین منابع، یکی به دیگری داخل می‌گردند-



شکل (2-22)

و تحت شــرایط معین شکل تداخلی را تشکیل می‌دهند. اگر منبع s_1 تابع $y_1 = A\sin\omega t$ را داشته باشد و موج منتشر شده از s_2 تابع $y_2 = A\sin(\omega t+\varphi)$ را تحقق نماید؛ در موقعیت تداخل، این هر دو موج باید یکی با دیگری جمع شود، یعنی:

اگر $\omega t+\varphi = Q$ و $\omega t = P$ وضع شوند، پس:

$$y_1 = A\sin P$$
$$y_2 = A\sin Q$$
$$y = y_1 + y_2 = A\sin P + A\sin Q = A(\sin P + \sin Q)$$

چون: $\sin P + \sin Q = 2\sin\frac{P+Q}{2}\cos\frac{P-Q}{2}$ است،

پس: $$y = A(2\sin\frac{\omega t+\varphi+\omega t}{2}\cos\frac{\omega t-(\omega t+\varphi)}{2}$$

$$= A(2\sin\frac{2\omega t+\varphi}{2}\cos\frac{-\varphi}{2})$$

چون: $$\cos\frac{-\varphi}{2} = \cos\frac{\varphi}{2}$$

پس: $$= A\left[2\sin(\omega t+\frac{\varphi}{2})\cos\frac{\varphi}{2}\right]$$

$$y = 2A\cos\frac{\varphi}{2}\sin(\omega t+\frac{\varphi}{2})$$

هرگاه امپلیتیود($2A\cos\frac{\varphi}{2}$) مساوی به B وضع شود:

در آن صورت: $B^2 = 4A^2\cos^2\frac{\varphi}{2}$ و $y = B\sin(\omega t+\frac{\varphi}{2})$

می‌دانیم که شدت موج نوری به‌حیث انتقال دهندۀ انرژی عبارت از $I_0 = \frac{1}{2}\rho\, CB^2\omega^2$ است، که در این رابطه، امپلیتیود به B، سرعت به C، کثافت موج نوری به ρ و فریکونسی زاویه‌یی به ω نشان داده شده است. پس شدت انرژی I را می‌توان چنین محاسبه کرد:

$$I \sim B^2 = 4A^2\cos^2\frac{\varphi}{2}$$

$$I = \frac{1}{2}\rho\, C\omega^2 4A^2\cos^2\frac{\varphi}{2} = 4\ \frac{1}{2}\rho\, C\omega^2 A^2\cos^2\frac{\varphi}{2}$$ (شدت انرژی نوری تداخلی)

چون: $I_1 = I_2 = I_0 = \frac{1}{2}\rho\, C\omega^2 A^2$ است، پس: $I = 4I_0\cos^2\frac{\varphi}{2}$



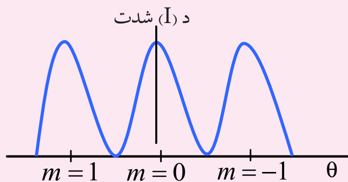
فعالیت

شـــاگردان به دو گروپ تقسیم شوند. اول، I را به قیمت‌های $\varphi = 0, 1\cdot 2\pi, 2\cdot 2\pi, ..., n(2\pi)$ محاسبه و برروی تخته بنویسند.

گروپ دوم شـــاگردان، I را به قیمت‌های $\varphi = \pi, 3\pi, ..., (2n+1)\pi$ محاسبه نموده و برروی تخته نشان بدهند و بعد از آن، گراف φ تابع I را رسم نمایند.

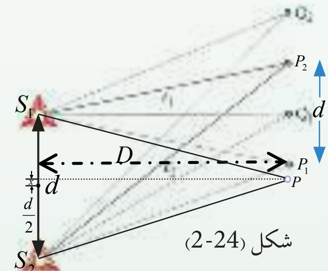
شـــاگردان برروی گراف قیمت‌هـــای I و φ را جابه‌جا نمایند.

این گراف به طریقهٔ جمع کردن امواج، تداخل شعاع نوری را به شکل نوارهای تاریک و روشن نشان می‌دهد.



شکل (2-23)

2-24: تعیین موقعیت شکل تداخلی نوارها



شکل (2-24)

به خاطر توضیـــح مطلب، منبع حقیقی کوهرنت S را به منابع s_1 و s_2 تقسیم می‌نماییم.

از نتیجهٔ تداخل منابع s_1 و s_2 برروی یک پرده، شـــکل تداخلی نوارهای روشـــن و تاریک دیده می‌شود. موقعیت این نوارها را از قسمت وسطی پرده به طریقهٔ تفاوت فاز معلوم کرده می‌توانیم.

اگر از منابع نوری s_1 و s_2 فاصله‌های انتشـــار امواج را معلوم و یکی را از دیگری تفریق کنیم و سپس در رابطه با فاز، این قیمت را مقایسه نماییم، نتیجه به دست آمده می‌تواند.

آیـــا می‌دانیـــد که راه‌های نوری و هندســـی از یک‌دیگر چه تفاوت دارنـــد؟ فرضاً P موقعیت تشکیل شدن نوار تداخلی و c نقطهٔ وسطی این منابع باریک s_1 و s_2 است. اگر طول راه‌های نوری s_1p و s_2p را محاسبه و یکی را از دیگر تفریق نماییم، هدف (موقعیت نوار از پرده) به دســـت می‌آید. اگر $s_1s_2 = d$ و فاصلهٔ عمودی بین پرده و منابع نوری را D فرض کنیم، پس مطابق شکل نوشته می‌توانیم که:

$$\overline{S_2}P^2 - \overline{S_1}P^2 = \left[D^2 + (x+\frac{d}{2})^2\right] - \left[D^2 + (\frac{d}{2}-x)^2\right]$$

$$s_2p^2 - s_1p^2 = (D^2 + x^2 + \frac{d^2}{4} + xd - D^2 - \frac{d^2}{4} - x^2 + xd)$$

اگر رابطهٔ فوق را ساده نماییم، پس نوشته می‌توانیم که:

$$\overline{S_2}P^2 - \overline{S_1}P^2 = 2x \cdot d \Rightarrow (s_2\, p - s_1 p)(s_2 p + s_1 p) = 2x.d$$

$$S_2P - S_1P = \frac{2x \cdot d}{S_2P + S_1P}$$

از جانب دیگر، اگر موضوع را با شکل مقایسه نماییم، $S_2P - S_1P$، حاصل تفریق راه نوری را ارایه می نماید، و چون طول d بسیار کوچک است؛ حاصل جمع وسطی $S_2P + S_1P$ عبارت از $2D$ می باشد.

$$\text{تفاوت راه نوری} = \frac{2xd}{2D} = \frac{xd}{D}$$

اگر این قیمت را برای تفاوت فاز بنویسیم، این شکل را اختیار می‌نماید:

$$\text{تفاوت فاز} = \frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{x \cdot d}{D}\right)$$

اگر نوار P روشن باشد، طول موج تفاوت راه با عدد تام مساویست، یعنی:

$$\frac{xd}{D} = m\lambda \qquad m = 0,1,2,3......$$

بنابر این x که فاصلهٔ عمودی خط وسط منابع الی نوار روشن می‌باشد، عبارت است از: $x = \frac{m\lambda D}{d}$



فعالیت

شـاگردان از وسـط پرده فاصله‌های نوارهای روشن شماره اول، دوم و سوم را پیدا کنند و باز در بین دو نوار روشن فاصله را معلوم نموده و آن‌را به رای معلم نشان دهند.

فاصلهٔ نوار تاریک از وسط پرده توسط رابطهٔ ذیل معلوم می‌شود: $\frac{xd}{D} = m\lambda + \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \frac{xd}{D} = \frac{2m\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2}$

$$\frac{xd}{D} = (2m+1)\frac{\lambda}{2} \Rightarrow x = \frac{(2m+1)\lambda \cdot D}{2d} \qquad , \qquad m = 0,1,2...$$



فعالیت

شاگردان از وسط پرده فاصلهٔ نوارهای تاریک برای $m = 1,2,3$ را محاسبه نموده و به معلم نشان دهند.

هم‌چنان فاصلهٔ بین دو نوار تاریک، تحت کنترول و نظارت معلم نشان داده شود.

باید اضافه شــود که فاصلهٔ بین دو نوار (روشــن و تاریک) با هر نمره‌یی که مطابقت نماید، با هم مساوی اند. پروسهٔ تداخل نه‌تنها این‌که حقیقت موجی اشعهٔ نوری را نشان می‌دهد، بلکه در دیگر پروســه‌های تحقیقی نیز از آن اســتفاده صورت می‌گیرد. که دراین‌جا به همین قدر معلومات اکتفأ می‌گردد.

2-25: **تفرق** (*Diffraction*)

تفرق چیست و خصوصیت موجی آن چه خواهد بود؟

تفرق آن پدیدهٔ فزیکی است که در چگونه‌گی طبیعت شعاع نوری نقش بازی می‌کند.



فعالیت

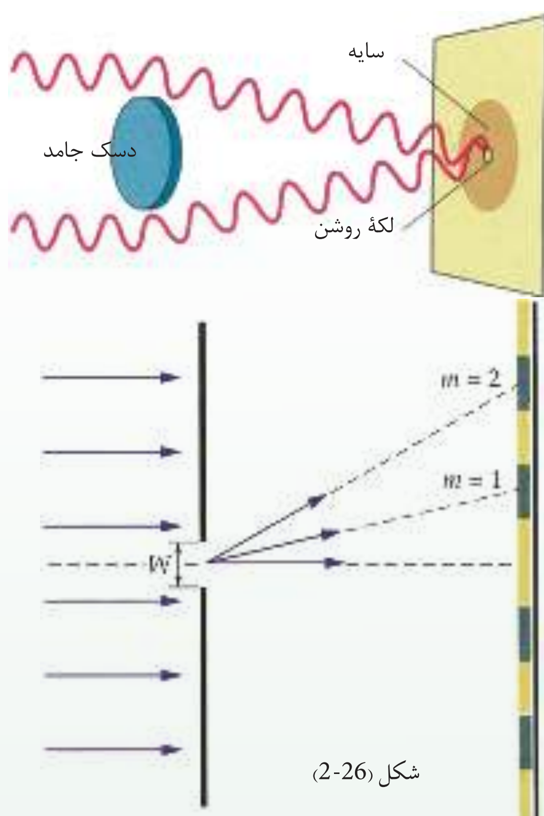
یک مقوای کاغذی را یک سوراخ کوچک نموده و سپس از یک فاصلهٔ دور، یک منبع روشنی را در مقابل این سوراخ قرار دهید. حالا ببینید که مسیر راه شعاع نوری در این سوراخ کوچک چطور معلوم می‌شود؟

اگر بالای یک پردهٔ ســیاه شعاع‌های داخل شده از این سوراخ بررسی شــود، در آن صورت چه را خواهید دید؟ آیا باز هم در اطراف روشنی چنین ساحه‌یی را دیده می‌توانید که نه روشن باشد و نه هم تاریک؟ چرا این طور می‌شــود؟ به کمک معلم روی آن بحث نموده و پیش روی صنف با توضیحات خود بر آن روشنی بیاندازید.



شکل (2-25)

در زنده‌گی روزمره دیده می‌شود که نور به خط مستقیم انتشار می‌نماید و این یک اصل نور هندســی است. یک قرن پیش تعدادی از دانشمندان به این باور بودند که اگر نورخصوصیت موجی را دارا می‌بود، پس باید به خط مستقیم انتشار نمی‌کرد. مثال‌های آشکار و غیر دقیق هم برای این عقیده وجود داشــت؛ به طور نمونه: هنگامی‌که شــعاع از یک سوراخ و یا هم از طریق ذرات داخل اتاق می‌گردد، مانند یک خط مســتقیم معلوم می‌شــود؛ پس نور باید ذره باشــد. ولی بعدها یک تعداد از دانشــمندان مانند: هیوگنز برخی تجارب را انجام دادند و در نتیجهٔ آن نشان دادند: وقتی‌که شعاع از یک سوراخ کوچک داخل اتاق می‌گردد، شعاعی‌که با کناره‌های سوراخ تماس نموده انحنا می‌کند، و در اطراف تصویر سوراخ یک‌تعداد قسمت‌های روشــن و تاریک ظاهر می‌شــود که به خصوصیت موجی شعاع نوری دلالت می‌کند. هیوگنز ایــن حادثــه را مثل حادثهٔ صوت با اصول موجــی توضیح داد و بر این حادثــه نام تفرق را گذاشت. هیوگنز این دو تجربهٔ بسیار ساده را به انجام رسانید:



شکل (2-26)

او در مسیر شــعاع نوری، یک سوراخ دایروی را قرار داد و هنگامی‌که شعاع از سوراخ خارج گردید، برروی پرده طوری نمایان شــد که در اطراف تصویر ســاحه‌های روشــن و تاریک به نظر می‌خورد، که این خصوصیت موجی شعاع نوری را آشــکار می‌سازد. درین تجربه روشنی زیاد در حصهٔ وسطی قرار داشته و هر قدر که به استقامت شعاع به کناره‌ها (لب‌ها) می‌رود، روشنی آهسته آهسته کم می‌گردد تا این که نیمهٔ روشن و قسمتی از سوراخ معلوم می‌شود. همچنان شده می‌تواند که در مسیر شعاع نوری یک دســک (قرص) خُرد دایــروی را بگذاریم، دیده می‌شود که شعاع نوری از لب‌های دسک به پرده می‌خورد و دســک ســایه‌اش را روی پرده به شکل سیاه رنگ تشکیل می‌دهد، اگر شعاع نوری به خط مستقیم انتشار می‌نمود، باید در ساحهٔ سایهٔ دسک یک قسم تاریکی وجود می‌داشت؛ ولی این طور معلوم می‌شود که شــعاع نوری هنگام تماس با لب‌های دسک خم می‌شود و این نتیجه به دست می‌آید که این شعاع بعد از برخورد، با یک خصوصیت جدید انحنا می‌کند و در حقیقت، یک حالت تداخلی را به میان می‌آورد. این چنین انتشار نور را که به خصوصیت موجی شعاع نوری جواب می‌دهد، تفرق می‌گویند. از حادثهٔ تفرق در مطالعهٔ کرســتال‌ها اســتفادهٔ زیاد می‌گردد. در این حادثه نیز از شــعاع مونوکروماتیک اســتفاده می‌شود. در حادثهٔ تفرق ابعاد تجربی بسیار کوچک و با طول موج شعاع نوری قابل مقایسه است. در این‌جا همهٔ جوانب تفرق مطالعه شده نمی‌تواند؛ بلکه محض به بررسی شکل موجی چنین حادثه‌یی اکتفا می‌نماییم. در کورس‌های پیشرفتهٔ فزیک این حادثه به وســعت کامل بررســی می‌گردد. این اســتدلال حادثهٔ تفرق بر پرنسیپ انتشــار جبهه‌یی امواج نوری هیوگنز متکی می‌باشد. توضیحات هیوگنز به خصوص مبنی بر این‌که شعاع نوری هنگام رسیدن به سوراخ و یا یک درز، از حالت قبلی خویش تغییر را قبول نمی‌کند بلکه به‌طور مســتقیم انتشــار می‌نماید، با عکس‌العمل‌ها روبه رو گردید که فرنیل با فرضیه‌های خویش آن‌را اصلاح نمود.

2-26: قطبی شدن نور

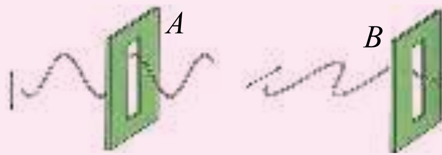
حوادث نوری تداخل و تفرق محض آشکار نمود که طبیعت شعاع نوری موجی است، و این را توضیح نمی‌نماید که این حالت موجی به شکل امواج طولی است و یا به گونهٔ امواج عرضی؛ اما استقطاب نوری این را واضح ساخت که شعاع نوری امواج عرضی است، یعنی اهتزاز ذرات اهتزازی بر استقامت انتشار امواج شعاع نوری عمود است.



فعالیت

شاگردان را به دو گروپ تقسیم نموده، یک ریسمان به هر گروپ توزیع و دو درز A و B را در دو صفحهٔ مقوا و یا در صفحه‌های حلبی و المونیمی‌ایجاد می‌نماییم.

یک انجام ریسمان را در مقابل یکی از لوحه‌ها محکم بسته می‌کنیم، و انجام دیگر را از دو سوراخ می‌گذارنیم و قسمی‌که پیش از این نشان داده بودیم، ریسمان را به طرف بالا و پایین تکان می‌دهیم. موجی که تولید می‌گردد چگونه موجی است؟ موج از هر دو درز خارج می‌شود. بار دوم درزها را غیر موازی قرار می‌دهیم.



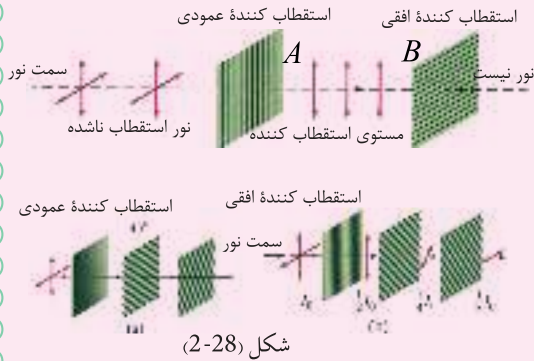
شکل (27-2)

چون درز مربوط B با درز A موازی نبوده و علاوه بر آن چون درز B با سمت اهتزاز موج به طور عمود موقعیت اختیار نموده است، پس در این حالت موج به وجود آمده در ریسمان از سوراخ یا درز B عبور کرده نمی‌تواند. اگر موج تولید شده در ریسمان موج طولی می‌بود، پس باید از B گذشته می‌بود. از این‌جا به این نتیجه می‌رسیم که موج ذکر شده یک موج اهتزازی عرضی است.

حال می‌خواهیم فعالیت فوق را به شکل یک تجربه ارایه نماییم:



تجربه



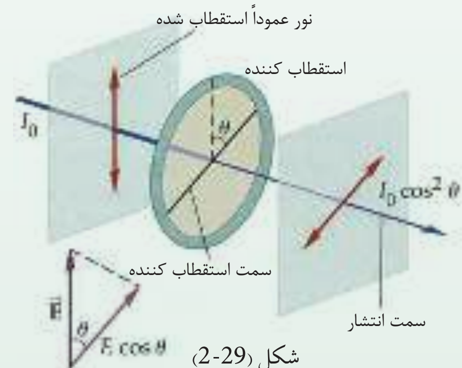
شکل (2-28)

دو جسم کرستالی را به نام تورمالین به طور موازی به استقامت انتشار شعاع نور به گونۀ عمودی می‌گذاریم. منبع نور را به (S) و کرستال‌ها را به ترتیب به A و B نمایش داده و مطابق شکل جابه‌جا می‌نماییم. در این حالت شعاع نوری از سیستم می‌گذرد. اگر کرستال B به سمت انتشار اشعه‌یی یک زاویه بسازد، پس اشعه از کرستال B عبور نمی‌کند.

از این جا معلوم می‌شود که امواج نوری، مانند امواج عرضی میخانیکی عمل نموده و از کرستال تورمالین B خارج نمی‌شود؛ یعنی شعاع نوری، مانند موج‌های عرضی انتشار می‌یابد.

2-27: مستوی استقطاب

وقتی‌که نور عادی از کرستال تورمالین می‌گذرد، قطبی می‌گردد و این نور قطبی شده به استقامت انتشار نور به گونۀ عمودی اهتزاز می‌نماید، که در حقیقت به این نور، نور قطبی شدۀ مستوی می‌گویند. مستوی استقطاب، آن مستوی‌یی است که اهتزاز در آن صورت می‌گیرد.



شکل (2-29)

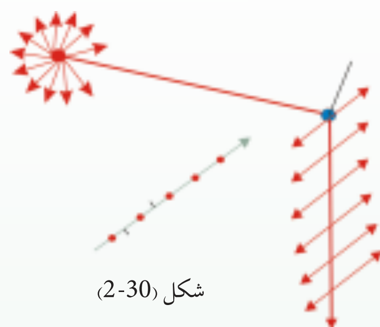
در شکل، اهتزازات بر مستوی استقطاب عموداً صورت می‌گیرد. آن مستوی که در آن اهتزاز صورت می‌گیرد، به نام مستوی اهتزازی یاد می‌شود.

می‌دانیم که نور عادی از موج‌های زیاد تشکیل گردیده است که هر موج آن با یک رنگ مشخصی که دارای اهتزازات معین است، مطابقت می‌کند.

از طرف دیگر، واضح است که هر یک از این اهتزازها از دو اهتزاز خطی که یکی بالای دیگر عمود بوده و تفاوت فاز $\frac{\pi}{2}$ را دارد، به میان می‌آید.

به همین علت ممکن است که هر اهتزاز به دو مرکبه که یکی بالای دیگر عمود باشد، تجزیه گردد. بر این اســـاس، اشـــعهٔ نوری را که امواج عرضی اند، در دو مستوی xx' و yy' که یکی بالای دیگر عمود بوده و در عین زمان بر اســـتقامت انتشـــار نور هم عمود اند، به دو مرکبه تجزیه می‌نماییم.

اهتزازاتی را که ذرات به موازات مستوی کاغذ به سر می‌رسانند، مطابق شکل (2-30) به علامهٔ (↕) و آن اهتزازاتی که بر مستوی کاغذ عمود باشند، به علامهٔ (•) نشانی شده‌اند.



شکل (2-30)

2-28: قطبی کردن به وسیلهٔ انعکاس

در ســـال 1880 میلادی یک ساینس‌دان به نام ملوس Malus نشان داد که شعاع منعکس شده از سطح یک شیشهٔ عادی قطبی می‌شود.

این عالم به واسطهٔ یک تجربه، شعاع نور عادی را بر شیشـــهٔ مستوی وارد نموده و سپس شعاع منعکســـه را از آن ذریعـــهٔ کرســـتال تورمالین آزمایش کرد که قطبی می‌شود یا نه. موصوف در جریان تجربه کرستال تورمالین را به استقامت شـــعاع منعکسه حرکت داده و سرانجام دید که در یک موقعیت معین و تحت زاویهٔ وارده، شعاع منعکسه قطبی گردیده است. به این زاویه، زاویهٔ استقطاب (قطبی شدن) می‌گویند.



شکل (2-31)

در این‌جا اهتزازات شـــعاع منعکســـه بر سطح شیشـــه، به مرکبه‌های عمودی و موازی با آن تجزیه می‌شود و دوباره موازی بر سطح منعکس می‌گردد و مرکبهٔ عمودی تحت زاویهٔ معین قابل رویت می‌گردد. هم‌چنان شـــعاع منعکســـه نیز تحت زاویه‌های معین مانند امواج سطح آب قطبی می‌شـــود. باید گفته شـــود که حادثهٔ قطبی شدن یک بحث بسیار طولانی است و در تخنیک، طبابت و پژوهش‌های تحقیقی دیگر از آن استفادهٔ وسیع صورت می‌گیرد؛ اما ما در این‌جا تنها به معرفی این حادثه اکتفا نموده ایم.

خلاصۀ فصل دوم

• موج یک نوع حرکت است که از حرکت اهتزازی پیهم ذرات حاصل می‌شود، بدون این‌که ذرات اهتزازی موقعیت خویش را به طرف حرکت موج تغییر دهند.

• امواج، خصوصیت الکترومقناطیسی و یا هم میخانیکی دارند. موج‌های الکترومقناطیسی به سرعت نور در خلا حرکت می‌کنند. امواج میخانیکی به انواع عرضی، طولی و ساکن تقسیم گردیده اند که مشخصه‌های مهم در آنها، سمت انتشار موج و حالت ذرات اهتزازی موج می‌باشد.

• خصوصیت عمدۀ امواج میخانیکی و الکترومقناطیسی به واسطۀ پیریود، امپیلتیود یا دامنه، فریکونسی و طول موج مشخص می‌گردد.

• پیریود عبارت از زمانی است که یک اهتزاز مکمل در آن صورت می‌گیرد.

• انحراف اعظمی‌ذرۀ اهتزازی موج از حالت تعادل به نام اهتزاز یا امپلیتیود و یا دامنۀ موج یاد می‌گردد.

• تعداد اهتزازات یک ذرۀ مهتزز موج در واحد وقت به نام فریکونسی یاد می‌شود. هم‌چنان امواج انعکاس و انکسار می‌نمایند. عملیه‌های انعکاس و انکسار امواج به ساختار محیط انتشار آن‌ها مربوط است.

• انتشار موج در یک محیط متجانس در نتیجۀ گرفتن و از دست دادن انرژی ذرات هم‌جوار صورت می‌گیرد. حرکت هر موج از منبع انتشار موج به سمت انتشار موج به تابع وقت صورت می‌گیرد.

• در اهتزازات‌هارمونیکی، تابع انتشار موج از نظر ریاضی مشابه به تابع ساین است، یعنی:

$$x = a \cdot \sin \omega t$$

• دراین رابطۀ، x موقعیت ذرۀ کیفی اهتزازی از منبع انتشار موج در یک وقت معین است و ωt فاز انتشار موج نامیده می‌شود، و ω سرعت زاویه‌یی انتشار موج را ارایه می‌کند.

• فاصلۀ بین دو ذرۀ اهتزازی هم‌فاز را طول موج می‌نامند. در بین کمیت‌های سرعت انتشار موج، طول موج و پیریود چنین ارتباطی وجود دارد: $\lambda = \upsilon \cdot T$

• هر دو موج متجانس (کوهیرینت) یکی با دیگری تداخل می‌نمایند. در ساحه‌یی که امواج تداخل می‌کنند، یک‌تعداد اعظمی‌ها و اصغری‌ها به میان آمده که این اعظمی‌ها و اصغری‌های تداخلی، از حل یکسان معادله‌های دو موج به دست می‌آیند.

- امواج صوتی، موج‌های طولی اند. مشخصات عمدهٔ امواج صوتی؛ پایین بودن صدا، بلندی و چگونه‌گی سرعت انتشار صدا است.
- امواج صوتی در جامدات، مایعات و گازها انتشـــار می‌یابد و هر محیط برای انتشـــار صوت ویژه‌گی‌های مشخص دارد. در حالت طبیعی، صوت در هوا منتشر می‌گردد.
- اگر محیط انتشار صوت یک گاز ایدیال باشد، پس در این حالت سرعت گاز با $\upsilon = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$ محاسبه می‌شود. کمیت‌های γ، R و M را از کتاب درسی یادداشت نمایید. T درجهٔ مطلق حرارت است.
- صوت ویژه‌گی‌ها موجی انعکاس، انکســـار و سرعت را دارد. در رابطه بر آهنگ صوت‌هایی که بر حواس انسان اثر مطبوع دارد و حدود صداهای بی‌آهنگ، از کتاب استفاده نمایید.
- در هوا سرعت صوت به فریکونسی، و طول موج صوت به رابطهٔ ذیل ارتباط دارد.

$$\upsilon = f \cdot \lambda$$

- حادثهٔ داخل شدن امواج نوری یکی در دیگری را تداخل می‌گویند. در حادثهٔ تداخل شعاع نوری، شدت روشنی نور $I = 4a^2 \cdot \cos^2 \frac{\Phi}{2}$ است. در این فورمول برروی گراف، I به تابع Φ را نشان داده می‌توانیم.
- فاصلهٔ نوارهای روشـــن و تاریک از مرکز شکل تداخلی از رابطهٔ $x = \frac{m\lambda D}{d}$ به دست می‌آید. شمارهٔ نوارهای تداخلی، یعنی: $m = 0,1,2,3...$ از فورمول $\frac{x.d}{D} = m\lambda$ به دست می‌آید.
- تفرق فزیکی به حادثهٔ پراکنده شدن موج گفته می‌شود که تابع یک قانون خاص است.
- حادثهٔ قطبی شـــدن شعاع نوری، اساس موجی دارد که توسط تجربه بسیار خوب و روشن معلوم شده می‌تواند. در حادثهٔ قطبی شدن، شعاع نوری به دو بخش تقسیم می‌گردد.

- توسط کریستال تورمالین، حادثهٔ قطبی شدن شعاع نوری به صورت بهتر نشان داده می‌شود.
- حادثهٔ قطبی شدن در مستوی‌های مخصوص صورت می‌گیرد که به آن‌ها مستوی‌های استقطاب گفته می‌شود. شعاع قطبی شده توسط انعکاس و انکسار و به واسطهٔ کرستال تورمالین خوب نشان داده می‌شود.

سؤالات فصل دوم

1- دو تفاوت عمدهٔ امواج میخانیکی و الکترومقناطیسی را بنویسید.

2- مشخصات فزیکی امواج میخانیکی را تعریف نمایید.

3- امواج میخانیکی از نگاه انتشار موج و چگونه‌گی ذرات اهتزازی، به چند نوع اند؟ تشریح کنید.

4- می‌دانید که تابع انتشار امواج یعنی $x = a \cdot \sin \omega t$ معادل با تابع ساین می‌باشد. در این تابع، کمیت‌های فزیکی را تعریف نمایید و تابع گراف $x = 3 \cdot \sin 2t$ را رسم و روی آن بحث نمایید.

5- دربارهٔ امواج میخانیکی صوتی توضیحات لازم را ارائه کنید.

6- امواج صوت:

الف) به سرعت نور حرکت می‌کنند.

ب) معادل با سرعت نور حرکت می‌کنند.

ج) در محیط منتشر شده می‌تواند و بدون محیط صدا منتشر نمی‌گردد.

7- پدیدهٔ آهنگ امواج صوت را توضیح نمایید، زیر و بم چه را می‌گویند؟ و حدود فریکونسی‌های شنیدن صدا کدام است؟ بنویسید.

8- عمق یک چاه چهل متر است. شخصی یک سنگ را به طور سقوط آزاد به چاه می‌اندازد و از اثر اصابت سنگ به آب، صدا تولید می‌شود. از لحظهٔ رسیدن سنگ به سطح آب تا شنیدن صدا بر سر چاه 10^{-1} ثانیه وقت را در برمی‌گیرد. ارتفاع آب در چاه چقدر است؟

9- در حادثهٔ تداخل فاصلهٔ نوارهای روشن و تاریک از مرکز منظرهٔ تداخلی چگونه حساب می‌شود؟ فاصلهٔ نوارهای شماره ششم روشن و تاریک را از مرکز محاسبه نمایید.

10- الف) حادثهٔ قطبی شدن به واسطهٔ کرستال تورمالین را توضیح دهید.

ب) فاصله بین دو کوه را پیدا کنید در صورتی که زمان رفتن و آمدن صدا از یک کوه به کوه دیگر، 4 ثانیه باشد.

خواص میخانیکی ماده



در این فصل دو ویژه‌گی عمدهٔ ماده را که تاکنون با دقت کامل بررسی ننموده‌ایم، مطالعه می‌کنیم.

فکرکنید اگر یک پارچهٔ فلز المونیم را با قوت زیاد توسط دستان خویش کش کنیم، چه اتفاقی می افتد؟ و یا برعکس، اگر یک پارچهٔ قلعی را از دو طرف به سوی داخل فشار دهیم، چه حالتی به وجود خواهد آمد؟

دو مثال فوق در حالات سه‌گانهٔ اجسام دیده می‌شوند که به طور عمده تحت عنوان حالت اجسام بررسی می‌گردد.

3-1: حالات ماده

در طبیعت، ماده به سه حالت دیده می‌شود که عبارت اند از:

1. حالت گاز　　2. حالت مایع　　3. حالت جامد

این سه حالت به مالیکول‌های داخلی و ساختمان اتومی‌این اجسام مرتبط است. اگر آن حالت عادی‌یی که یکی از حالات مذکور به آن ارتباط دارد تغییر داده شود، امکان دارد که یک حالت ماده به حالت دیگری تغییر یابد، یا به عبارت دیگر می‌توانیم که با به میان آوردن شرایط سخت، گاز را به مایع، مایع را به گاز، جامد را به جسم مایع و جسم مایع را به گاز تبدیل نماییم. در این همهٔ این حالات لازم است که ابتدا قوای مالیکولی داخلی اجسام را تنظیم نماییم و بعداً حالت جسم را با دادن انرژی زیاد و یا گرفتن انرژی از آن تغییر دهیم.

برای این‌که مفاهیم فوق به طور واضح بررسی گردد، ویژه‌گی‌ها ساختمان ماده را با کمی‌تفصیل مطالعه می‌نماییم.



فعالیت

شاگردان در صنف به دو گروپ تقسیم شوند، به یک گروپ در یک ظرف یک مقدار آب و وسیلهٔ تولید حرارت و به گروپ دومی‌یک پارچهٔ یخ و ظرف در داده شود. گروپ اول و دوم طبق هدایت معلم، ظرف ذکر شده را بالای وسیلهٔ تولید کنندهٔ حرارت بگذارند.



شکل (3-1)

دیده خواهد شد که آب آهسته آهسته گرم شده، به جوش می‌آید و در آخر به بخار تبدیل می‌گردد، یعنی از حالت مایع به گاز و یا حالت بخار تبدیل می‌شود.

همچنان گروپ دوم خواهد دید که یخ آهسته آهسته به آب تبدیل می‌شود. فکر کنید که اما چرا چنین واقع می‌شود؟ شاگردان در رابطه با این تغییر، نظریات خویش‌را بگویند و سپس معلم به ارتباط این حادثه موضوع را تشریح نماید.

اکنون این تغییر شکل اجسام را در اثر قوهٔ خارجی مطالعه می‌کنیم. اول ساختمان ماده را مطالعه می‌کنیم و خواهیم دانست که ماده سه حالت ذیل را دارد:
حالت‌های جامد، مایع و گاز. اگر یک پارچهٔ یخ را که در حالت جامد است حرارت دهیم، یخ به آب و یا حالت جامد به حالت مایع تبدیل می‌گردد، یعنی توسط حرارت دادن حالت جامد ماده به حالت مایع تبدیل می‌شود. و اگر به همین آب حرارت بیشتر بدهیم، آب جوشیده و به بخار تبدیل می‌گردد که در این حالت، آب از حالت مایع به حالت گاز تغییر می‌یابد. در فعالیت فوق، حالت جسم تحت مطالعه، آب است. در این‌جا نه تنها حالت آب تغییر می‌یابد؛ بلکه به طور کامل آب به یک حالت دیگر تغییر می‌کند. به این نتیجه می‌رسیم که این قانونمندی بر همهٔ اجسام تطبیق شده می‌تواند. باید بگوییم که تغییر شکل ماده با یک درجهٔ معین حرارت صورت می‌گیرد. حالت یک جسم به درجهٔ حرارت، فشار و ساختمان داخلی آن ارتباط دارد.
وقتی‌که یک جسم از یک حالت به حالت دیگر تغییر می‌کند، این تغییر حالت را که در یک درجهٔ معین حرارت صورت می‌گیرد، تغییر فاز (Phase) جسم می‌گویند. در حالت جامد، جسم حجم و شکل معین دارد. برای تغییر شکل و حجم این ماده، به یک مقدار قوه ضرورت است؛ زیرا که اجسام سخت در مقابل تغییر حجم و شکل خویش مقاومت زیاد نشان می‌دهند. باید بگوییم که مادهٔ مایع حجم معین دارد، ولی شکل ثابت و معین ندارد. مواد مایع؛ مانند مواد جامد، برای تغییر حجم خویش به قوهٔ زیاد احتیاج دارند. یعنی مایع‌ها برای حفاظت حجم خویش، در مقابل قوا مقاومت زیاد می‌کنند.
مایعات در هر ظرف شکل همان ظرف را اختیار می‌نمایند، جریان پیدا می‌کنند و در مقابل تغییر شکل مقاومت نشان نمی‌دهند.
ماده در حالت گاز، هر شکل و حجمی را اختیار کرده می‌تواند و درین رابطه، مقاومت قابل ملاحظه‌یی از خود نشان نمی‌دهد. بر این اساس، گاز که در هر ظرف که انداخته شود، به سرعت زیاد فضای آن‌را اشغال می‌نماید. باید بگوییم که بعضی اجسام مصنوعی؛ مثل: قیر، موم و لاک با تغییر درجهٔ حرارت بسیار کم از جامد به مایع و از مایع به جامد تبدیل می‌گرد.
اگر یک فلز تحت عمل قوهٔ خارجی واقع گردد، دیده خواهد شد که شکل فلز تغییر می‌نماید؛ ولی اگر تأثیر قوهٔ خارجی از بین برود، جسم دوباره شکل اولی‌اش را اختیار می‌نماید.
بدون شک که مواد فلزی از جملهٔ اجسام سخت بوده، فرق زیاد در بین این اجسام و دیگر اجسام سخت در این است که اجسام سخت طبیعی؛ مثل: فلزات در یک درجهٔ معین حرارت از حالت جامد به حالت مایع تبدیل می‌گردند، در حالی‌که اجسام سخت مصنوعی در درجهٔ

حرارت دوام‌دار، به طور تدریجی از حالت جامد به حالت مایع تبدیل می‌شوند. یعنی در اثر زیاد شدن درجهٔ حرارت، این مواد سخت ابتدا نرم شده و باز به حالت چسپناک تبدیل گردیده و بعد از آن، حالت مایع را به خود اختیار می‌نمایند. از این‌جا به این نتیجه می‌رسیم که اجسام در حالت طبیعی در قیمت‌های معین درجهٔ حرارت، حالت‌های جامد، مایع و یا گاز را به خود اختیار می‌کنند.

حالت جسم جامد در یک قیمت معین درجهٔ حرارت به حالت مایع تبدیل می‌شود و با ازدیاد درجهٔ حرارت، حالت گاز را اختیار می‌کند که در حالات سه‌گانه شکل و حجم جسم تغییر می‌یابد. ممکن است که تحت تأثیر قوه و یا انرژی، شکل و حالت جسم نامبرده دوباره به حالت اولی‌اش برگردد. از این‌جا به این نتیجه می‌رسیم وقتی که یک جسم از یک حالت، به حالت دیگر تغییر می‌نماید، فقط فاصله در بین مالیکول‌های آن تغییر می‌کند، یا به عبارت دیگر فاصله میان مالیکول‌های یک جسم سخت بی‌اندازه کم و ارتباط بین این مالیکول‌ها بسیار قوی است، در حالی‌که اگر این جسم به حالت مایع تبدیل شود، فاصله میان مالیکول‌های جسم زیاد شده و ارتباط این مالیکول‌ها یک بادیگر ضعیف می‌گردد.

اگر جسم مذکور از حالت مایع به حالت گاز تبدیل شود، ارتباط بین مالیکول‌های جسم در یک حجم آزاد از بین می‌رود و هر مالیکول (یا اتوم) جسم با مالیکول دیگر هیچ ارتباط نداشته و در حجم ذکر شده آزادانه حرکت کرده می‌تواند. بر اساس این ویژه‌گی، فلزات در تحت تأثیر قوه، شکل خود را تغییر می‌دهند. فلزات در تخنیک به انواع بسیار نرم؛ مانند: پلاتین، طلا، مس، زرسفید و نسبتاً نرم مانند: المونیم و آهن تقسیم می‌گردد. فلزات نرم از نقطهٔ نظر ارزشِ، دارای قیمت بلند بوده و به آسانی شکل آن‌ها تغییر می‌یابد.

از اجسام نسبتاً سخت در تخنیک بسیار استفاده می‌شود؛ زیرا از نقطه نظر قیمت، ارزان هستند.

در سیم‌های برق خانه‌ها از کدام فلزات کار گرفته شده است، چرا؟ همچنان بگویید که تفاوت در بین کثافت آهن و المونیم چیست؟ آیا آهن در ساخت بادی موتر بیشتر به کار می‌رود یا المونیم؟ به همین ترتیب در رابطه با نرمی این دو فلز چه گفته می‌توانید؟

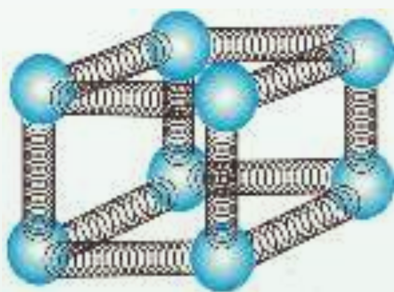
چرا و چگونه جسم از حالت جامد به مایع و از حالت مایع به حالت گاز تبدیل می‌گردد؟ می‌دانیم که در اجسام جامد قوۀ عمل متقابل در بین مالیکول‌ها بسیار زیاد است، هنگامی‌که به جسم حرارت زیاد داده شود، انرژی حرکتی مالیکول‌های جسم بیشتر می‌گردد و در نتیجه رابطۀ بین مالیکول‌های جسم سخت، ضعیف و فاصلۀ میان مالیکول‌های آن زیاد می‌گردد و جسم دیگر حالت جامد قبلی‌اش رانگه کرده نمی‌تواند، در نتیجه جسم آب می‌شود و قابلیت جریان را پیدا می‌کند. وقتی‌که جسم از حالت جامد به حالت مایع مبدل گردد، گفته می‌شود که جسم فاز خود را تبدیل نموده است.

اگرچه در حالتی‌که به جسم حرارت زیاد داده می‌شود؛ ولی درجۀ حرارت آن ثابت می‌ماند، که به این درجۀ حرارت، درجۀ حرارت تبدیل شدن فاز جسم گفته می‌شود.

پس این انرژی حرارتی چه می‌شود؟

این انرژی حرارتی، عوض این‌که درجۀ حرارت جسم را بالا ببرد، انرژی حرکی مالیکول‌ها و یا اتوم‌های جسم را زیاد می‌نماید و در نتیجه درجۀ حرارت جسم ثابت می‌ماند و حالت جامد جسم، تحت این درجۀ حرارت به حالت مایع تبدیل می‌شود.

تبدیل شدن به حالت گاز نیز با بلند رفتن درجۀ حرارت آغاز می‌شود تا این‌که در یک درجۀ ثابت و معین، حالت جسم به حالت گاز تبدیل می‌گردد. در شکل (3-2) وضعیت مالیکول‌های یک جسم جامد را دیده می‌توانید.



شکل (3-2)،
مودل مالیکیول‌های یک جسم جامد

3-2: کثافت (*Density*)

در درس‌های گذشته در مورد کثافت اجسام و حالت یا چگونه‌گی آن‌ها به طور مختصر آموخته اید. چه فکر می‌کنید که تحت تأثیر قوه و فشار با داشتن درجۀ معین حرارت، اجسام چگونه شکل خود را تغییر می‌دهند؟

آیا در حجم مساوی، مقدار کتله‌های آهن و مس قیمت‌های مساوی دارند، چرا؟



فعالیت

در سه گروپ تقسیم شوید و اندازهٔ کتله‌های آهن، المونیم و مس را که دارای حجم مساوی اند معلوم کنید. پس نسبت کتلهٔ هر یک بر حجم آن را معلوم نمایید. معلم علت تفاوت کمیت‌هایی را که از این نسبت حاصل گردیده با شاگردان یکجا بررسی نماید و نظر شاگردان را جمع کند. این کمیت‌ها را در یک جدول بنویسید.

با در نظر گرفتن این فعالیت، نسبت کتله و حجم برای یک جسم معین، کثافت آن جسم نامیده می‌شود، اگر کتله m و حجم v باشد.

$$\rho = \frac{\text{اندازهٔ کتلهٔ جسم}}{\text{اندازهٔ حجم جسم}} = \frac{m}{v}$$

در سیستم SI، واحد اندازه‌گیری کثافت kg/m^3 ویا gr/cm^3 است.

$$1m^2 = 10^6 cm^3 \quad \text{و} \quad 1\ kg = 10^3\ gr$$

همچنان می‌توانیم با استفاده از فورمول فوق کثافت مایع‌ها و گازها را تعیین نماییم. با استفاده از شناخت کثافت مواد، موارد استعمال آن‌ها در تخنیک و صنعت مشخص می‌شود.

برای سهولت، در کتاب‌ها از قبل، قیمت‌های کثافت مواد ترتیب می‌گردد و از روی آن قیمت‌های مورد ضرورت یادداشت و از آن استفاده صورت می‌گیرد.

به گونهٔ مثال، جدول ذیل را ببینید:

شماره	نام جسم	کثافت به (kg/m^3)
1	طلا	19.3×10^3
2	سیماب	13.6×10^3
3	آهن	7.86×10^3
4	اب خالص $(4^\circ c)$	1.00×10^3
5	اب بحر $(15^\circ c)$	1.025×10^3
6	یخ	0.917×10^3
7	الکول	0.806×10^3
8	هوا	1.29
9	بخار آب $(100^\circ c)$	0.598
10	گازهایدروجن	0.0899

بهتر خواهد بود که یک ویژه‌گی دیگر اجسام را که وزن مخصوصه Specific Gravity نامیده می‌شود نیز مطالعه نماییم.

این کمیت از نسبت کثافت یک جسم مورد نظر و کثافت جسم و یا مادهٔ دیگری که به عنوان استندرد قبول گردیده است، به دست می‌آید. این مادهٔ استندرد به صورت معمول آب خالص است که درجهٔ حرارت آن چهار درجهٔ سلیسیوس می‌باشد. این معیار تنها برای اجسام جامد و مایع قابل تطبیق است و برای گازات این معیار، هوا در نظر گرفته می‌شود.

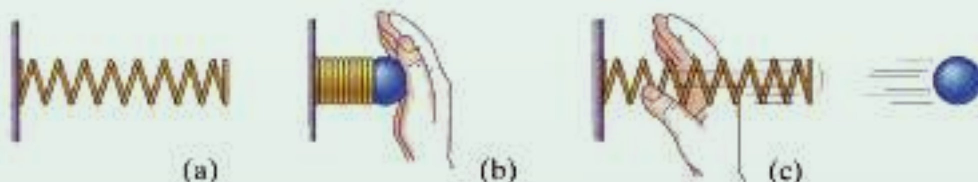
$$\text{وزن مخصوصه} = Sp \cdot gr = \frac{(\rho)}{(\rho_s)} \frac{\text{کثافت جسم}}{\text{کثافت مادهٔ استندرد}}$$

وزن مخصوصه: یک کمیت بدون واحد (بی بعد) یک کمیتی است که فقط به واسطهٔ یک عدد نشان داده می‌شود و در تمام سیستم‌های اندازه‌گیری عین قیمت را دارد. این کمیت هم در جدول برای جامدات، مایعات و گازها ترتیب شده و در حل مسایل از آن استفاده می‌شود.

3-3: ارتجاعیت (*Elasticity*)

پیش از این بررسی نمودیم که حرکت‌های اهتزازی و موجی چه ویژه‌گی‌هایی دارند و چگونه به میان می‌آیند. اکنون می‌خواهیم بدانیم که در اجسام سخت عمل قوهٔ خارجی چگونه به جسم تغییر شکل می‌دهد، در حالی‌که حجم کلی جسم تغییر نمی‌یابد. به این‌که یک جسم زیر عمل قوهٔ خارجی شکل خود را تغییر دهد و بعد از دور شدن قوه، به حالت اولی خود برگردد، ارتجاعیت جسم گفته می‌شود. وقتی‌که یک جسم جامد از اثر قوهٔ خارجی شکل خود را تغییر داده و بعد از دور شدن قوه، شکل قبلی خویش‌را دوباره اختیار ننماید، چنین جسمی را جسم غیر ارتجاعی می‌گویند.

هر یک از این اجسام در تخنیک ارزش خاص خود را دارند. معمولاً اجسام پلاستیکی ارتجاعیت ضعیف داشته و بسیار کم می‌توانند حالت قبلی خویش را اختیار نمایند.



شکل (3-3)



فعالیت

شاگردان به دو گروپ تقسیم گردند. یک گروپ اجسام ارتجاعی جامد و گروپ دیگر اجسام غیر ارتجاعی جامد را نشانی کنند. اجسام جامد؛ مانند: لاک، موم، رابر و یا سیم‌هایی را که از مس و آهن بسیار باریک ساخته شده اند، با همدیگر مقایسه نمایند. اگر اجسام جامد ذکر شده تحت تأثیر قوۀ خارجی واقع شوند، چطور ویژه‌گی ارتجاعیت و غیر ارتجاعیت در آن‌ها بر مبنای ساختمان مالیکولی آن‌ها توضیح شده می‌تواند؟ معلم بر موضوع روشنی اندازد.

3-4: فشار تراکمی یا تنش (*Stress*)

پیش از این در مورد فشار معلومات کافی حاصل نمودیم که عبارت بود از قوه فی واحد سطح. اکنون می‌خواهیم عمل قوه را بر جسم جامد ارتجاعی بررسی نماییم. گفته می‌شود که عمل قوۀ خارجی بر اجسام مایع و گاز با عمل قوۀ خارجی بر اجسام جامد ارتجاعی مشابهت دارد.

چون ساختمان و حالت فزیکی اجسام جامد، مایع و گاز از یک‌دیگر فرق ندارد، در این‌جا تنها اجسام جامد ارتجاعی را تحت تأثیر قوۀ خارجی بررسی می‌نماییم.



فعالیت

دو سیم باریک را که قطرهای آن‌ها در حدود چند ملی‌متر و طول آن‌ها تقریباً $70cm$ است، در دو میخ آویزان می‌نماییم. در انجام دیگر هر سیم، نیم کیلوگرام وزنه را آویزان می‌کنیم. اگر طول این سیم‌ها را قبل و بعد از آویزان نمودن وزنه با وسایل دقیق اندازه نماییم، آیا در طول سیم‌ها کدام تغییر دیده خواهد شد؟ شاگردان این تغییر طول را در دو گروپ یادداشت کرده و در مقابل نام خود آن‌را بنویسند.

دیده می‌شود که در نتیجۀ تأثیر قوه و یا کش کردن توسط وزنه، این سیم‌ها یک اندازه دراز می‌شوند. اگر قوۀ عامل دور گردد، سیم‌های مذکور دوباره به حالت قبلی‌شان برمی‌گردند. شاگردان این حالت را نیز اندازه کنند و به یک نتیجۀ درست دست یابند.

از اجرای این فعالیت به این نتیجه خواهید رسید که سیم‌های متذکره ویژه‌گی‌های ارتجاعی دارند.

فرضاً قوهٔ عامل بالای سیم، F و مقطع سیم، A باشد، فشاری‌که تحت تأثیر قوهٔ F بر مقطع A سیم وارد می‌گردد، $P = \frac{F}{A}$ است.

در این‌جا F قوهٔ کشش سیم، A مقطع سیم و P فشاریست که سبب تغییر در ساختمان و شکل سیم گردیده و به واسطهٔ عمل قوه به میان آمده است.

همین قسم ناگفته نماند که در بین اتوم‌های سیم نیز قوه‌یی عمل می‌کند که به نام قوهٔ عامل داخلی اتوم‌ها یاد شده و در حالت نورمال به شکل و ساختمان جسم مربوط می‌باشد.

همچنان بین اتوم‌ها یک خلا موجود است که به نام فاصله بین مالیکول‌ها و اتوم‌ها نامیده می‌شود. وقتی‌که قوهٔ خارجی بر یک جسم به طرف پایین عمل نماید، خواه مخواه این قوهٔ خارجی اتوم‌های جسم را به طرف پایین می‌کشاند و از طرف دیگر قوهٔ عامل بین اتوم‌ها به سمت مخالف آن عمل نموده، اتوم‌ها مقاومت می‌کنند تا این‌که ساختمان سیم و یا جسم را به حالت اولی اش نگه‌دارند. دراز شدن به طرف پایین، فقط از نتیجهٔ بزرگی فاصلهٔ بین مالیکول‌ها و یا اتوم‌ها به میان می‌آید. فشاری‌که در مقطع معین سیم به واسطهٔ قوهٔ F به وجود می‌آید، تحت تأثیر قوهٔ ثابت F با مقطع سیم معکوساً متناسب است، یعنی با باریک شدن سیم، فشار بالای آن زیاد می‌شود. اگر این کار دوام پیدا کند، فشار فوق‌العاده زیاد می‌گردد و ممکن است که سیم کنده (قطع) شود. همچنان اگر مقطع سیم ثابت نگهداشته شود، بازیاد شدن قوه، فشار پایینی به طور مستقیم افزایش می‌یابد و این به معنای آن است که سیم دیگر نمی‌تواند فشار را تحمل کند و ارتباط بین اتوم‌های ساختمانی جسم قطع می‌گردد و سیم قطع می‌شود.

آما برخی مواقع سیم قطع نمی‌شود؛ بلکه در شکل فزیکی آن تغییر به وجود می‌آید، که در تخنیک این خاصیت فلزات در نظر گرفته می‌شود و سعی می‌گردد که تغییر شکلی‌یی که در اثر حوادث مختلف تحت تأثیر قوه به وجود می‌آید، بعد از دور شدن قوه، جسم حالت اولی خویش را اختیار نماید، که در حقیقت به این ویژه‌گی، حالت ارتجاعی فلز یا جسم گفته می‌شود. در سیستم بین‌المللی اندازه‌گیری واحدات (SI)، واحد فشار عبارت از پاسکال است، در صورتی‌که یک نیوتن قوه بر سطح $1m^2$ به طور عمود عمل نماید.

در تخنیک، فشار بالای سیم‌ها به کیلو پاسکال محاسبه می‌گردد.

در برخی کتاب‌ها نسبت قوهٔ عامل و مساحت مقطع سیم را فشار تراکمی یا تنش (stress) می‌گویند و آن را با سمبول δ نمایش می‌دهند.

$$(stress)\delta = \frac{\text{قوهٔ عامل}}{\text{مساحت مقطع سیم}}$$

و یا هم نوشته می‌توانیم که:
$$\delta = \frac{F}{A}$$

این کمیت به پاسکال اندازه می‌شود.

مثال: برای اندازه کردن stress یک سیم مسی که قطر مقطع آن $0.003m$ است، آن را به یک لابراتوار تخنیکی انتقال می‌دهند. اگر کارکنان تخنیکی $100kg$ کتله را از مقطع آن آویزان کنند، فشار قوه را بر مقطع سیم به kpa حساب نمایید.

حل:

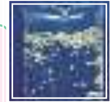
$$d = 0.003m$$
$$F = 100 \times 9.81$$
$$F = 981N$$
$$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 3.14 \times \left(\frac{0.003m}{2}\right)^2$$
$$A = 3.14(0.0015m)^2$$
$$A = 3.14 \times 0.00000225m^2$$

قیمت δ را وضع و معلوم کنید:

$$\delta = \frac{F}{A} = \frac{981N}{(0.000225)(3.14) \times 10m^2 \times 10^{-6}} = \frac{981N \times 10^6}{(0.000225)(3.14)m^2}$$
$$\delta = 138853503.184713Pa$$
$$\delta = 138853.503184713kPa$$

3-5: طول و فشار

پیش از این بر مقطع یک سیم باریک ارتجاعی، عمل قوه را بررسی نمودیم. اکنون می‌توانید بگویید که عمل قوه بر طول سیم چه تأثیری می‌تواند داشته باشد؟



فعالیت

در سه گروپ سه سیم مسی را که طول هر یک آن‌ها یک متر باشد، در سه گوشهٔ صنف بر یک جسم محکم آویزان نمایید و بعد از آن چهار جسم دارای وزن‌های مختلف را در انجام سیم‌های آویزان شده آویخته و ببینید که زیاد شدن وزن‌ها و تغییر طول سیم‌ها با هم مستقیماً متناسب می‌باشند و یا نه؟ این افاده یک‌بار دیگر قانون هوک را در کشش‌های ارتجاعی به خاطر می‌آورد.

قانون هوک بیان می‌نماید که قوهٔ عامل ارتجاعی (F)، با اندازهٔ انحراف (X) جسم ارتجاعی، ارتباط مستقیم دارد. یعنی: $F = kx$

فشار بالای مساحت مقطع A سیم باریک را برای قوهٔ کشش نوشته می‌توانیم:

$$P = \frac{F}{A}$$

با وضع نمودن F از قانون هوک:

$$P = \frac{K}{A} \cdot X$$

در تخنیک به طور معمول به ثابت $\frac{K}{A}$، ثابت تناسب رابطه گفته می‌شود؛ در حالی‌که k یک کمیت ثابت قانون هوک است که مربوط به ویژه‌گی‌های اجسام ارتجاعی می‌باشد. به همین ترتیب اگر L طول سیم در حالت عادی بدون تأثیر قوهٔ خارجی و ΔL تغییر طول سیم بعد از تأثیر قوه باشد، پس دراین صورت قانون هوک به این شکل نوشته شده می‌تواند:

$$P \approx \frac{\Delta L}{L}$$

و یا با در نظرداشت یک عدد ثابت تناسب، رابطهٔ فوق این شکل را به خود اختیار می‌کند.

$$P = const \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

اگر در اندازهٔ طول سیم تحت تأثیر قوهٔ خارجی زیادت به میان بیاید، در آن صورت P را کشش و حالت را حالت کشانیدن سیم می‌گویند و اگر در کمیت طول سیم تحت تأثیر عمل قوه تناقص صورت بگیرد، پس درین صورت اتوم‌های سیم یکی به دیگر نزدیک می‌گردد، که این حالت را حالت فشرده‌گی یا تراکم می‌گویند. اگر در رابطهٔ آخری، ثابت رابطه به E نشان داده شود، در آن صورت:

$$P = E\frac{\Delta L}{L}$$

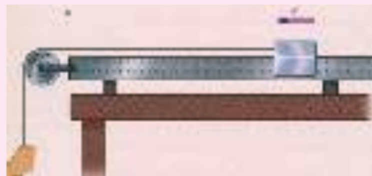
$\frac{\Delta L}{L}$ اندازهٔ نسبتی طول کشش سیم ارتجاعی را ارایه می‌نماید. E مودول ارتجاعیت یونگ است و به kP_a/mm^2ارایه می‌گردد. P عبارت از کشش سیم است. وقتی‌که $\frac{\Delta L}{L}=1$ شود، درین حالت $P=E$ است؛ یعنی کشش برابر است با مودل یونگ. در هنگام اندازه‌گیری، مودل یونگ و کشش واحدهای مساوی اندازه‌گیری را دارند. در عمل، اندازهٔ دراز شدن سیم به واسطهٔ کشش، با طول اصلی سیم مساوی شده نمی‌تواند. یعنی قبل از این‌که این عمل انجام یابد، سیم قطع می‌گردد.



فعالیت

یک انجام نل رابری نسبتاً باریک را مطابق شکل بر سر میز بسته می‌کنیم، و سر دیگر آن‌را بعد از عبور از یک چرخ به طرف پایین آویزان می‌نماییم. در یک قسمت معین نل رابری، به واسطهٔ یک حلقه، قطر نل را اندازه می‌کنیم و آن‌را d_1 می‌نامیم. سپس در قسمت آویخته شدهٔ نل یک جسم را با وزن W آویزان می‌نماییم.

در نتیجهٔ آویزان نمودن وزن، در طول نل به اندازهٔ ΔL تزاید به وجود می‌آید و قطر d_1 حلقه‌یی که در حصهٔ نشانی شده قرار داشت به درازای نل طویل شدهٔ متجانس، قیمت d_2 را به خود می‌گیرد.



شکل (4-3)

پس در این حالت نسبت قطرها با $\frac{\Delta L}{L}$ متناسب است. یعنی: $\frac{d_1}{d_2} \approx \frac{\Delta L}{L}$

این فعالیت را سه نفر به طور جداگانه در صنف انجام دهند و نتایج را روی تخته نوشته و با هم مقایسه نمایند.

فعالیت فوق تحت قانون ارتجاعیت هوک صورت می‌گیرد. وقتی‌که قوهٔ کشش وزن به صورت آهسته دور می‌شود، همهٔ ابعاد نل به حالت قبلی‌اش برمی‌گردد؛ ولی با دور شدن وزن این عمل یک‌باره به صورت مکمل صورت نمی‌گیرد؛ بلکه با گذشت زمان، ابعاد نل حالت قبلی خود را اختیار می‌نماید.

اگر بخواهیم برای این نل رابطهٔ $\frac{\Delta L}{L} \approx \frac{\Delta d}{d_1}$ را به شکل معادله بنویسیم، باید آن‌را توسط یک ضریب به هم ارتباط دهیم؛ یعنی:

$$\frac{\Delta d}{d_1} = \mu \frac{\Delta L}{L_1}$$

μ برای اندازه کردن ابعاد نل به نام ضریب پادسون یاد می‌شود. ویژه‌گی ارتجاعی نل در عملیهٔ تغییر مهم می‌باشد. ضریب μ کمیت بعدی یا دارای واحد نیست و تنها ارزش عددی دارد و قیمت آن از 0.01 الی 0.3 تغییر می‌یابد. باید گفته شود که با کشش وزن، ابعاد نل به دو استقامت تغییر پیدا می‌کند. اگر از یک‌طرف نل رابری تحت تأثیر وزن به استقامت طول یعنی L زیاد می‌شود، از جانب دیگر اندازهٔ قطر مقطع نل کم می‌شود، یعنی $\Delta L > o$ و $\Delta d < o$ می‌باشد. اما در محاسبه، قیمت مطلقهٔ کمیت‌ها در نظر گرفته می‌شود.

مودول بلک (*Bulk Modulle*)

مودول بلک که به نام مودل تراکمی بلک نیز یاد می‌شود، به حرف B نشان داده می‌شود و آن در یک جسم ارتجاعی از حاصل تقسیم تنش(stress) و کشش (strain) به دست می‌آید.

ویژه‌گی عمدهٔ ارتجاعیت این است که در حجم معین، کثافت جسم باید یکسان باشد.

اگر تنش(stress) حجمی را به $P_1 - P_2 = \Delta P$ و در نتیجهٔ این stress، کشش (strain) حجمی را به $Strain = \frac{\Delta V}{V_1}$ نشان دهیم، پس درین حالت مودول بلک قیمت زیر را اختیار می‌نماید:

$$B = \frac{stress}{strain} = \frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V_1}} = V_1 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

رابطهٔ آخری، تغییر حجمی‌جسم ارتجاعی را زیر تأثیر قوهٔ میخانیکی خارجی نشان می‌دهد. مودول بلک برای هر جسم ارتجاعی یک کمیت ثابت دارد.

مودول شیر *Shear Modulles*

در تخنیک اجسام سخت زیاد استعمال می‌گردد. ازین سبب، دانشمندان ساختمان این اجسام را به دقت بررسی می‌نمایند. وقتی‌که این اجسام زیر تأثیر قوای خارجی می‌آیند، دانشمندان تأثیرات قوه را می‌بینند و در صورت به وجود آمدن نواقص و مشکلات تخنیکی، تدابیر لازم را اتخاذ می‌نمایند.

مودول شیر در این بحث توسط یک مکعب مستطیل جامد، حوادث stress و strain را بیان می‌نماید. برای این‌که به موضوع داخل شویم، فعالیت ذیل را اجرا می‌کنیم.



فعالیت

شاگردان را به دو گروپ تقسیم نموده و به گروپ اول یک کتاب نازک تر و به گروپ دومی‌یک کتاب ضخیم را مطابق شکل می‌دهیم. هر گروپ به ترتیب بریک سطح این کتاب‌ها به صورت عمودی، فشار وارد می‌کند و مشاهدات خود را در یک ورق می‌نویسد. نمایندهٔ هر گروه یادداشت گروپ خود را در صنف می‌خواند.

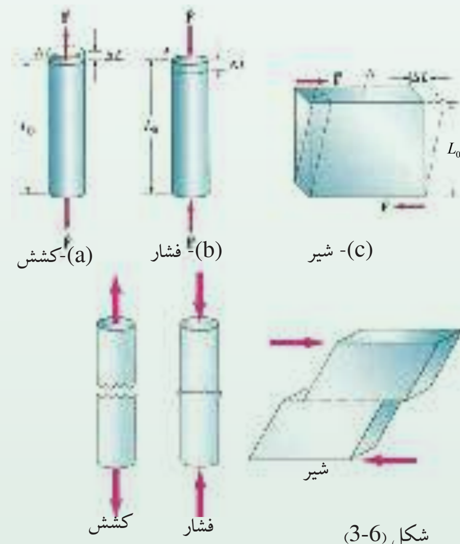
بعد از نمایش هر گروه، معلم در نتیجهٔ فشار وارد نمودن بر کتاب‌ها، تغییر حجمی‌و مشخصات هر کتاب را تو ضیح می‌کند و بعد به استفادهٔ این نوع مشخصات در اجسام فلزی درکارهای ساختمانی اشاره می‌نماید.



شکل (3-5)

در نتیجهٔ فعالیت فوق، مودول شیر که به آن مودول برش هم می‌گویند و به سمبول S نشان داده می‌شود، این طور بیان می‌گردد:

مودل برش شیر(S) ارتجاعیت شکل مواد سخت را تحت تأثیر قوه، توضیح می‌دارد. مطابق شکل بر یک مکعب مستطیل قوه‌های مساوی و متقابل F عمل می‌کند و در نتیجهٔ عمل این قوه‌ها، مکعب مستطیل دوران می‌نماید. در نتیجهٔ عمل قوه‌ها و دوران، حجم مکعب مستطیل تغییر نمی‌کند. درین حالت stress شیر توسط رابطهٔ ذیل افاده می‌شود.



شکل (3-6)

$$\text{شیر stress} = \frac{\text{عمل قوهٔ مماسی F}}{\text{سطح معکب مستطیل شیر}}$$

ویا:

$$\delta_s = \frac{F}{A}$$

برای این‌که مودل شیر تعریف شود، لازم است که رابطه برای strain را یک‌بار دیگر بنویسیم:

$$\varepsilon_s = \frac{\Delta L}{L_o}$$

در این رابطه، ΔL فاصلهٔ برش شدهٔ شیر شده و Lo طول حالت اولی مکعب مستطیل را ارایه می‌کند. اگر stress شیر را بر strain شیر تقسیم نماییم، پس مودل شیر؛ یعنی (S) به دست می‌آید.

$$\text{(S) مودول شیر} = \frac{\text{شیر stress}}{\text{شیر strain}}$$

اگر در رابطهٔ آخری قیمت‌های stress و strain را وضع کنیم، می‌توانیم بنویسیم که:

$$S = \frac{\delta_s}{\varepsilon_s} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_o}} = \frac{F}{A} \times \frac{L_o}{\Delta L} = \frac{F \cdot L_o}{A \cdot \Delta L}$$

واحد s، $(\frac{N}{m^2})$ می‌باشد

خلاصهٔ فصل سوم

در این فصل، حالات میخانیکی ماده از نظر ساختمان اتومی‌و مالیکولی به تفصیل توضیح گردیده است. دربارهٔ مالیکول‌ها و اتوم‌ها در رابطه با قوهٔ کشش و چگونه‌گی آن بحث شده است.

در مورد اجسام، و ویژه‌گی ارتجاعی ماده تحت تأثیر قوه به اندازهٔ کافی توضیح داده شده است و فرق بین اجسام جامد ارتجاعی و غیر ارتجاعی بررسی شده و نشان داده شده است که از جسم تحت تأثیر قوه، وقتی‌که قوه دور می‌شود، اتوم‌ها یا مالیکول‌ها و یا هم قسمت بی‌جا شدهٔ جسم دوباره به حالت اولی خود برمی‌گردد. به همین ترتیب، در رابطه با معلوم کردن کثافت و وزن مخصوص اجسام جامد و واحدات اندازه‌گیری آن‌ها بحث شده است. واحد کثافت $\frac{kg}{m^3}$ و $\frac{gr}{cm^3}$ می‌باشد؛ در حالی‌که وزن مخصوص بدون واحد بوده و محض به واسطهٔ یک‌عدد ریاضی ارایه می‌شود. همچنان فشاری که بر واحد سطح یک جسم تحت تأثیر قوه وارد می‌گردد، stress نامیده می‌شود که اندازهٔ آن زیر اثر قوه به درازای جسم با واحد اندازه‌گیری به پاسکال تشریح شده است. یعنی:

$$1N/1m^2 = 1Pa$$

به همین ترتیب، دربارهٔ فشارهای شیر و بلک که در نتیجهٔ کشش به میان می‌آید، بحث صورت گرفته است. این‌که اجسام جامد تحت تأثیر فشار قوه و کشانیدن، چقدر تحمل و طاقت کرده می‌تواند، درین بحث نقش ارزنده و مهم را بازی می‌نماید.

این قابلیت تحمل به‌وسیلهٔ فشار به درازای جسم، در حوادث شیر و بلک توضیح گردیده است. معلوم کردن مودل‌های بلک و شیر برای ارتجاعیت و ویژه‌گی اجسام سخت در ساختمان و تخنیک بسیار مهم و ضروری است.

سؤال‌های فصل سوم

1. اجســـام از نگاه ســـاختمان اتومی‌و مالیکولی و داشتن فاصله بین آنها، در حالت‌های ذیل وجود ندارد: (جواب درست کدام است؟):

الف) گاز، مایع و جامد

ب) اجسام یخ شده، خاکستر شده و ذغال شده

ج) به شکل هوا، دریاها و کوه‌ها

د) به شکل قطره‌ها، شعاع نوری و ذره‌ها

2. از نظر ساختمان مالیکولی، تفاوت عمدهٔ گاز، مایع و جامد را در سه سطر بنویسید.

3. کثافت و وزن مخصوص یک جسم از هم چه تفـاوت دارند؟ واحدهای اندازه‌گیری آن‌را بنویسید.

4. یک جســم جامد $45kg^*$ وزن و $3m^3$ حجم دارد. اگر $g = 981\frac{cm}{\sec^2}$ باشـــد، کثافت جسم مذکور چقدر خواهد بود؟

5. کمیت stress توســط رابطهٔ $\delta = \frac{F}{A}$ ارایه شـــده اســت. درین رابطه در مورد F و A روشنی بیندازید و واحدهای اندازه‌گیری آن‌را بنویسید.

6. مفهوم فزیکی فشـــار p را تحت کشـــش قوهٔ F توضیح نمایید و کمیت‌های شـــامل رابطهٔ $P = E\frac{\Delta L}{L}$ را توضیح کنید و بگویید که اگر $\Delta L = L$ شود، چه واقع می‌شود؟

7. مودول بلک توسط رابطهٔ $B = V_1 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V}$ تشریح شده است. کمیت‌های شامل رابطه را توضیح نمایید.

8. مودول شیر عبارتست از $s = \frac{F \cdot L_o}{A \cdot \Delta L}$

کمیت‌های شامل رابطه را توضیح کنید:

9. پنجاه و یک گرام تیل پطرول $75cm^3$ حجم دارد. کثافت و وزن مخصوص این پطرول را معلوم کنید.

10. معلوم کنید که $300gr$ سیماب "Hg" چقدر حجم دارد، در حالی‌که کثافت سیماب $\rho = 13600\frac{kg}{m^3}$ است.

خواص حرارتی مواد



می‌دانیـــم که علم فزیـــک قانون‌مندی جهان را به طور بنیادی و اساســـی بیان می‌دارد، این تحلیل و مطالعه، تأثیرات متفاوت جهان مادی را در ابعاد مختلف بررسی می‌نماید.

علمـــا راجع به خواص حرارتی ماده و ماهیت حرارت از ســـال‌ها بـــه این طرف نظریاتی ارایه کرده‌انـــد. آن‌ها حوادث فزیکی را تحت بررســـی قرار داده و در هر مـــورد ابراز نظر کرده اند؛ چنان‌چـــه یونانی‌های قدیم مثل دیموکریتوس (Domocritus) جســـم جامد را مرکب از ذرات در حال نوسان می‌دانست. پس از چندین قرن که افکار بشر دوباره متوجه خواص ماده و حوادث حرارتی گردید، نظریهٔ حرکی بر اســـاس تجربـــه به میان آمد. چنان‌چه بیکن عالم انگلیســـی گفت که ما مشـــاهده می‌کنیم که حرارت عبارت از حرکت شـــدید اجزای داخلی جسم است. چند سال بعد، نظریهٔ کالوریک به میان آمد.

علما به این عقیده بودند که حرارت یک سیال، بدون وزن و غیر رویت است و به آن کالوریک می‌گفتند. آن‌ها می‌گفتند زمانی که چوب و یا ذغال سوختانده می‌شود، یک مقدار کالوریک تولید می‌گردد و این کالوریک به مواد دیگری نیز انتقال کرده و سبب گرمی آن‌ها می‌شود. اما زمان‌که یک جسم سرد می‌شد، می‌گفتند که جسم یک مقدار کالوریک خویش را باخته است. همچنان تجارب انجام شده توسط علما نشان داد که توسط اصطکاک حرارت تولید می‌شود؛ مثلاً: اگر یک جسم سخت توسط برمه سوراخ و در ساحهٔ برمه شده، آب انداخته شود، دیده می‌شود که در اثر اصطکاک زیاد، آب مذکور بدون موجودیت آتش به جوش می‌آید. چهل سال بعد، ژول (Joule) بعد از یک سلسله تجارب دقیق نشان داد که همیشه یک مقدار انرژی میخانیکی، سبب تولید یک مقدار حرارت شده و این انرژی میخانیکی و حرارت با هم معادل می‌باشند و بنابرآن حرارت یک شکل از انرژی است. اکنون نظریهٔ قبول شده، نظریهٔ حرکی مالیکول‌ها است. در این مورد دانشمندان عقیده دارند که همهٔ اجسام از ذرات خیلی کوچک که به نام مالیکول یاد می‌شوند، تشکیل شده اند. این ذرات یک‌دیگر را جذب می‌کنند. قوی‌ترین قدرت جذب در جامدات و ضعیف‌ترین در گازات است. مالیکول‌ها و ذرات اجسام جامد نسبت به مایعات و گازها با هم نزدیک‌تر اند و در جامدات فاصلهٔ بین مالیکولی خیلی کم و در گازها این فاصله خیلی زیاد است. اکنون می‌بینیم که مسألهٔ مالیکول‌ها چه ارتباطی به موضوع تأثیر حرارت دارد. وقتی جسمی‌را حرارت می‌دهند و یا به آن ضربه وارد می‌کنند، حرکت مالیکول‌های ترکیب کنندهٔ جسم سریع‌تر گردیده و نوعی از حرکت را که هیجان حرارتی گفته می‌شود، به خود اختیار می‌کنند. در اثر این نوع حرکت، مالیکول‌ها با یک‌دیگر تصادم نموده و این تصادم سبب گرم شدن مالیکول‌های مجاور می‌شود. مالیکول‌های جسم گرم نظر به جسم سرد، سریع‌تر حرکت می‌کنند. مالیکول‌هایی که سریع حرکت می‌کنند، فاصلهٔ آن‌ها از یک‌دیگر زیادتر می‌گردد که این انتشار و پراکنده‌گی سبب انبساط جسم شده و فضای بیشتری را در برمی‌گیرد؛ مثلاً: اگر جسم جامدی را زیاد حرارت بدهند، مالیکول‌ها آنقدر سریع حرکت می‌کنند و از هم دور می‌شوند که در نتیجه به مایع و یا گاز تبدیل می‌شوند؛ اما زمان‌که حرارت اجسام کم گردد، تغییراتی خلاف تغییراتی‌که پیش از این ذکر شد، صورت می‌گیرد؛ یعنی مالیکول‌های جسم آهسته حرکت می‌کند و زمان‌که حرکت مالیکول‌ها کند شد، در این حالت مالیکول‌ها به واسطهٔ قوهٔ جذبی که دارند، به یک‌دیگر نزدیک شده و جسم منقبض می‌گردد و جای کمتر را می‌گیرد.

شـما می‌دانید که حرارت یک نوع انرژی اســت، زمان‌که حرارت از یک جسم به جسم دیگر انتقال می‌یابد، تغییری در حالت و کیفیت جسم وارد می‌شود. اگر همین جسم را از نگاه هر پدیـدۀ دیگر هم مطالعه نماییم باز هم اصـول آن تحت تأثیر خواص حرارتی مطالعه خواهد شد.

در ایـن فصـل، مطالعۀ جهان مادی در روشـنی خواص حرارتی ماده واضح می‌شـود. برای آموختن اصلیت حرارت و طریقه‌های انتقال آن، جسـم فزیکی سیاه و قوانین تشعشعی آن، بسیار ضروری است تا با مفاهیم فوق آشنا شویم.

4-1-1: انتقال حرارت توسط هدایت

کدام فصل را زیاد دوسـت دارید؟ زمستان یا تابستان را؟ با تغییر فصل، حالت هوا نیز تغییر می‌کند، در تابســتان هوا گرم و در زمستان سرد می‌شود. در هنگام تغییر نمودن هوا، جهت نگهداشــت صحت و سلامتی خود از قوانین فزیکی متعددی خصوصاً از خواص حرارتی مواد استفاده می‌نماییم. به طور مثال در زمستان لباس‌های ضخیم و گرم، و در تابستان لباس‌های سـفید و نازک می‌پوشیم. زیرا در صورت پوشیدن لباس‌های سفید، شعاع مستقیم آفتاب تا اندازۀ زیاد منعکس گردیده و به جلد بدن نمی‌رســد. همین طور برای ســرد ساختن بدن از اشـیای ســرد و یخ مانند آب یخ چاه، آیسکریم، دوغ و نوشابه‌های سرد و همچنان در داخل خانه از بادپکه و ایرکاندیشــن اســتفاده می‌کنیم و در روزهای سرد زمستان، لباس‌های گرم و ضخیم می‌پوشــیم و شـعلۀ گرم می‌خوریم تا حرارت بدن خود را ثابت نگه‌داریم، ما را یخ نزند و مریض نشویم.
حرارت عبارت از یک نوع انرژی اســت که از حرکت مالیکول‌های اجســام به وجود می‌آید. حرارت را انرژی داخلی اجسام نیز می‌نامند.

جهت کسب مهارت لازم، مثال‌های ذیل را در نظر بگیرید:

1. اگــر یک میلــۀ فلزی را بالای آتش بگیریم، چند لحظه بعد میله گرم می‌شــود و این گرمی‌به انجام دیگر میله هم می‌رسد. به عبارت دیگر، حرارت از آتش به آن قسمت میله که در تماس آتش قرار دارد، رسیده و باز از آنجا به انجام دیگر میله انتقال می‌یابد. پس واضح اســت که در جریان این تجربه، اتوم‌های آتش به میلۀ فلزی انتقال نکرده اســت. هم‌چنان اتوم‌های آن قســمت میلــه که بالای آتش قرار گرفته نیز بــه انجام دیگر میله انتقال نیافته است، یعنی این تغییر بدون آنکه مالیکول‌ها و یا اتوم‌های جسم بی‌جا شوند صورت می‌گیرد. پس عملیه‌یی را که ذرات جسم به جای خود باقی می‌ماند و تنها حرارت از یک قسمت به قسمت دیگر جسم انتقال می‌یابد، هدایت می‌نامند. در اجسام سخت و جامد حرارت تنها از طریق هدایت انتقال می‌یابد.

2. در زمســتان یــک بخاری گرم هوای تمام اتاق را گــرم می‌کند. وقتی‌که هوای محیط اطراف بخاری گرم می‌شــود، ذرات این هوا بلند رفته صعود می‌نماید و جای آن‌را هوای ســرد که از بخــاری دورتر واقع بوده می‌گیرد و هنگامی‌که این هوا نیز گرم شــد، صعود می‌کند. از این‌جا معلوم می‌شود که در گرم کردن هوای اتاق عملیۀ جریان مالیکول‌های هــوا لازم و مؤثر اســت. آن نوع انتقال حرارت کــه در آن مالیکول‌ها و اتوم‌های هوا جای خــود را تغییــر می‌دهند، به نام جریان حرارت و یا کانوکشــن یاد می‌گردد. در مایعات و گازها حرارت به همین طریق هدایت می‌شــود. ســبب انتقال حرارت از طریق کانوکشن این است که مالیکول‌های گازها و مایعات به مقایسۀ جامدات مستقل بوده و تغییر کثافت در آن‌ها که تابع درجۀ حرارت می‌باشــد، سبب بی‌جا شدن اتوم‌ها و مالیکول‌های محیط می‌گردد.

3. در حالی‌کــه بین آفتاب و زمین خلا اســت و کدام محیط مــادی وجود ندارد، ولی به طور متداوم حرارت آفتاب به زمین می‌رسد، به این معنا که در صورت عدم محیط مادی انتقال حرارت آفتاب به زمین نه از طریق هدایت صورت می‌گیرد و نه از طریق کانوکشن؛ بلکه به طریقۀ تشعشــع صورت می‌گیرد. در انتقال حرارت از طریق عملیۀ تشعشــع، به محیط مادی منحیث وسیلۀ انتقال ضرورت نیست.

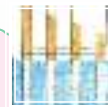
4-1-2: توضیح هدایت (*conduction*)

در طریقهٔ هدایت حرارتی، حرارت از یک نقطهٔ جسم به نقطهٔ دیگر آن بدون حرکت حقیقی ذرات و مالیکول‌ها انتقال می‌یابد. طریقهٔ آســان‌تر انتقال حرارت همین طریقه است، زیرا به گونهٔ مقداری توضیح و تشریح شده می‌تواند. در این طریقه، انرژی حرکی ذرات مالیکول‌های جســم گرم‌تر در اثر تماس مســتقیم با مالیکول‌های جسم ســرد به اجسام انتقال می‌نماید. انرژی حرکی مالیکول‌های جســم گرم به شــکل انرژی حرکی اهتزازی اتوم‌ها و مالیکول‌ها اســت. اتوم‌های جســم ســرد در درجهٔ حرارت اتاق در حدود حالت تعادل خویش حرکت اهتــزازی را انجــام می‌دهنــد. امپلیتود این اهتــزازات از فاصلهٔ بین اتوم‌های جســم جامد کوچک‌تر اســت. اگر یک جسم سرد با جســم گرم‌تر که انرژی حرکی اهتزازی مالیکول‌های آن بیشــتر بوده است، در تماس مستقیم واقع شــود، انرژی حرکی مالیکول‌های جسم گرم به مالیکول‌های جســم سرد انتقال می‌یابد، و امپلیتود اهتزاز آن‌ها را اضافه‌تر می‌نماید و به این ترتیب، حرارت از یک جسم به جسم دیگر هدایت می‌گردد. اگر جسم جامد فلز یا آهن باشــد، الکترون‌های آزاد نیز در ارسال حرارت سهم می‌گیرند. تا حال انتقال حرارت بین دو جسم سرد و گرم توسط هدایت را مطالعه نمودیم. اکنون می‌بینیم که در یک جسم، حرارت از یک نقطه به نقطهٔ دیگر چگونه انتقال می‌یابد؟

وقتی‌کــه انجــام یک میله‌ای فلزی را گــرم نماییم، انرژی حرکی مالیکول‌های میله بیشــتر گردیــده و در نتیجه به امپلیتــود بلندتر اهتزاز نموده و انــرژی حرارتی از یک مالیکول به مالیکول کنار خود انتقال می‌یابد و انتقال حرارت الی انجام دومی‌میله دوام می‌نماید (بدون آنکه مالیکول‌ها خود شــان کدام حرکت انتقالی را انجام دهند، بلکه آن‌ها در موقعیت حالت تعادل با نوسانات خویش ثابت می‌مانند).

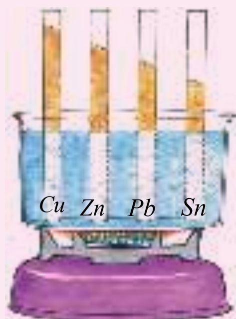
حال که با مکانیزم هدایت آشــنا شدیم، می‌بینیم که آیا قابلیت هدایت حرارتی تمام اجسام یک‌ســان است یا فرق می‌کند؟ برای دانســتن موضوع از یک انجام یک میلهٔ مسی گرفته و انجام دیگر آن‌را بالای آتش می‌گیریم. چند لحظه بعد خواهیم دید که انجام اولی آن که در دســت ماســت نیز آن قدر گرم می‌شــود که دیگر توان گرفتن آن را نخواهیم داشت. اما اگر انجام یک میله‌ای شیشــه‌یی را در دســت گرفته و عین تجربه را اجرا کنیم، خواهیم دید که بعد از مدت زیادی حرارت به انجام دومی‌آن خواهد رسید، آن‌هم نه آن‌قدر حرارت که دست ما را بسوزاند. از این تجربه معلوم می‌شود که اجسام مختلف قابلیت هدایت مختلفهٔ حرارت را دارا می‌باشند.

جهت وضاحت بیشتر، موضوع تجربهٔ ذیل را اجرا می‌کنیم:



فعالیت

در یـک ظرف آب جـوش مطابق شـکل (1-4) میله‌های فلـزات مختلف؛ ماننـد: مس(Cu)، جسـت (Zn)، قلعی (Sn) و سـرب (Pb) را قـرار می‌دهیـم و روی میله‌ها را توسـط ورق نازک موم می‌پوشـانیم. موم بر اساس قابلیت هدایت حرارتی هر فلز، گرم می‌شـود و به صورت تدریجی به آب شدن آغاز می‌نماید.



شکل (1-4)

اندازهٔ زمانی انتشـار حرارت الی انجام هر میله، از آب شـدن تدریجی موم آشـکار می‌گردد، و مشـاهده می‌شود که حرارت به انجام دیگر میله‌ها در اوقات مختلف می‌رسد. از این تجربه به این نتیجه می‌رسیم که هدایت حرارتی اجسـام مختلف یکسـان نبوده؛ بلکه از همدیگر متفاوت اسـت که به نوع و جنیست مادهٔ مذکور مرتبط می‌باشد.

3-1-4: معرفی درجه‌های حرارت

در فزیک و زنده‌گی روزمره، از انواع درجهٔ مشـخص حرارت اسـتفاده به عمل می‌آید. ما در این بحث سـه نوع درجهٔ حرارت را که خیلی معمولی هسـتند، معرفی و همچنان از رابطه بین آن‌ها یادآوری می‌کنیم. به تعقیب آن، شـما با بعضی پدیده‌های فزیکی؛ مانند: انبسـاط حرارتـی و تعیین درجات حرارت روی صفحات مدرج ترمامترهای مختلف آشـنایی، حاصل خواهید کرد.

4-1-4: درجهٔ حرارت سلسیوس

ساده‌ترین حرارت‌سنج (ترمامترسلسیوس)، که به آن ترمامتر سانتی‌گرید هم می‌گویند، توسط منجم سویدنی به نام اندرس سلسیوس (Anders Celsius 1744-1701) ساخته شد که از 100 درجه (نقطهٔ انجماد آب) تا صفر درجه (نقطهٔ غلیان آب) درجه بندی شده است. بعدها معکوس این درجه‌بندی یعنی صفر درجه برای انجماد آب و 100 درجه برای غلیان آب، توسط بیولوژی‌دان مشهور کارولوس لینیوس (1778-1707) درجه‌بندی شد. امروز ما درجهٔ حرارت انجماد آب را $0^{\circ}c$ و نقطهٔ غلیان آب را $100^{\circ}c$ در صفحهٔ ترمامتر می‌خوانیم. طول سکیل بین صفر تا 100 درجه را به صد حصهٔ مساوی تقسیم و هر حصه را یک درجهٔ سانتی‌گرید قبول کرده اند. در این ترمامتر، بالاتر از 100 درجه وجود ندارد؛ اما برای خواندن درجات پایین‌تر از صفر، صفحهٔ ترمامتر تا $-273^{\circ}c$ نشانی شده است.

4-1-5: درجهٔ حرارت فارنهایت

درجهٔ حرارت فارنهایت توسط گبریل فارنهایت (Gabrel Farenheit- 1668-1736) در لابراتوارش، صفر را پایین‌ترین درجه و حرارت بدن انسان را 96 درجه انتخاب کرد. این‌که نامبرده چرا این سکیل را انتخاب کرد تا کنون فهمیده نشده است. اکنون در صفحهٔ (سکیل) ترمامتر پیشرفته حرارت بدن انسان به $96{,}6^{\circ}F$ مطابقت می‌کند. علاوه بر آن در این صفحه (سکیل) انجماد آب با $32^{\circ}F$ و نقطهٔ غلیان آب با $212^{\circ}F$ مطابقت می‌کنند که بر اساس آخرین قرار داد قبول شده، تحول 32 تا 212 درجهٔ فارنهایت با تغیرات حرارت صفر تا 100 درجهٔ سانتی‌گرید مطابقت دارد. به‌خاطر باید داشت که نه تنها درجه‌های فارنهایت با سانتی‌گرید متفاوت است؛ بلکه اندازهٔ آن‌ها نیز با هم فرق دارند.

چون درجات آن‌ها با هم نسبت $\frac{100}{180}=\frac{5}{9}$ را دارد، بنابرآن برای تبدیل کردن درجات سلسیوس (T_C) و فارنهایت (T_F) از رابطهٔ خطی $T_F = aT_C + b$ استفاده می‌کنند.

بنا بر تعریف و به اساس رابطهٔ فوق، برای تعیین ثابت‌های a و b، $0^{\circ}C$ را به درجهٔ فارنهایت چنین تبدیل کرده می‌توانیم:

$$32^{\circ}\ F = a(0^{\circ}c)+b=b$$

پس قیمت ثابت b، عبارت از $32^\circ F$ می‌باشـــد. همچنان با وضع نمودن نقطهٔ غلیان، قیمت ثابت a را چنین به دست آورده می‌توانیم:

$$212^\circ\ F = a(100^\circ c) + 32^\circ F$$

با حل نمودن رابطهٔ اخیر قیمت a چنین به دست می‌آید:

$$a = (212^\circ F - 32^\circ F)/\ 100^\circ c = \frac{180^\circ F}{100^\circ c} = 9/5\ \frac{F^\circ}{c^\circ}$$

از یک‌جا کردن نتایج فوق، رابطه بین درجه‌های سلسیوس و فارنهایت مطابق ذیل به دست می‌آید:

$$T_F = (9/5\ \frac{F^\circ}{c^\circ})\ T_C + 32^\circ\ F \ ....(1)$$

همین طور، رابطه بین درجه‌های فارنهایت و سلســـیوس از رابطهٔ (1) نیز اســـتخراج شـــده می‌تواند.

$$T_C = (\frac{5}{9}\ C^\circ\ / F^\circ)(T_F - 32^\circ F)\ ....(2)$$

به طور مثال: برای تبدیل کردن $10^\circ c$ به فارنهایت نوشته کرده می‌توانیم:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 = 9/5(10) + 32 = 50^\circ F$$

مثال: صفحهٔ دایره‌یی یک ترمامتر به درجات سلســـیوس و فارنهایت درجه‌بندی شده است، درصورتی‌که عقربهٔ فنر در بهار 75 درجهٔ فارنهایت را نشان بدهد:

a- کدام درجهٔ سلسیوس با این درجه مطابقت خواهد کرد؟

b- اگر در زمستان حرارت $-2.0^\circ c$ باشد، کدام درجهٔ فارنهایت با آن مطابقت خواهد کرد؟

حل: برای تبدیل درجات حرارت، برای حل جزء a از رابطهٔ $T_C = (5/9)(T_F - 32)$ و برای حل جزء b از رابطهٔ $T_F = 9/5T_C + 32$ چنین استفاده می‌کنیم:

حل جزء a: قیمت $T_F = 75^\circ c$ را در رابطهٔ (2) وضع نموده، داریم:

$$T_C = 5/9(75 - 32) = 24^\circ c$$

حل جزء b: با وضع نمودن $T_C = -\ 2.0^\circ c$ در رابطهٔ (1) داریم:

$$T_F = \frac{9}{5}(-2.0) + 32^\circ = 28.4^\circ F$$

تمرین: کدام درجهٔ حرارت اســت کــه اندازهٔ آن در صفحات هر دو ترمامتر یکســان دیده می‌شود؟

حل: نظر به شرط سؤال:

$$T_F = T_C = t$$

$$t = \frac{9}{5}t + 32$$

بعد از حل رابطه داریم:

$$\frac{-4t}{5} = 32$$

$$t = -40$$



شکل (2-4)

برای امتحان از صحت کار:

با تعویض قیمت $T_F = -40^\circ F$ در رابطهٔ (2) نوشته کرده می‌توانیم:

$$T_C = (5/9)(-40-30) = -40^\circ c$$

پس، $-40^\circ F \approx -40^\circ c$ عین قیمت را دارد که در شکل مثال قبلی، این مطابقت به وضاحت دیده می‌شود.



سؤال

درجهٔ حرارتی را به فارنهایت محاسبه کنید که قیمت عددی آن با سه چند آن در ترمامتر سلسیوس مطابقت کند.

4-1-6: درجهٔ حرارت کلوین

ســکیل (صفحه‌ی مدرج) درجه‌ی حرارت کلوین توســط لاردکلوین (*Lord Kelvin William Thomson* 1824-1907) فزیکدان اســکاتلندی نام گذاشــته شد، که اساس آن را صفر درجهٔ مطلقه تشــکیل می‌دهد. «صفر درجهٔ مطلقه، درجهٔ حرارتی اســت که در آن گاز اکســیجن تحت فشار منجمد می‌شود که با حرارت $-273.15^\circ c$ مطابقت می‌کند».

در حقیقــت قیمــت $0^{\circ}k$ به طــور دقیق همان صفر مطلقه اســت؛ بنابرآن: در این ســکیل درجه‌هــای حرارت منفــی وجود ندارند. اندازه‌ی درجات ســکیل کلوین با درجات ســکیل سلســیوس با هم برابر اند. چنان‌چه گفته شــد، صفر درجهٔ مطلقه با $-273.15^{\circ}c$ مطابقت دارد، پس برای تبدیل کردن درجات حرارت بین ســکیل‌های سلسیوس و کلوین از رابطه‌ی ذیل استفاده می‌شود:

$$T = T_C + 273.15 \quad ....(3)$$

در رابطــه‌ی فوق، T درجه‌ی حرارت کلوین و T_C درجهٔ حرارت سلســیوس را ارایه می‌کند. خواندن درجات حرارت به ســکیل کلوین، نظر به سلســیوس و فارنهایت فرق می‌کند. طبق قــرارداد بین‌المللی برای خواندن درجهٔ کلوین، از علامه‌ی درجه (°) صرف نظر می‌کنند؛ به طور مثال: 5 درجهٔ کلوین را $(5^{\circ}k)$ نه بلکه به شکل $5k$ می‌نویسند. هرچند به طور عموم از ســکیل‌های سلسیوس و فارنهایت در محاسبات معمولی روزانه بیشتر استفاده می‌شود، ولی در فزیک، کلوین نظر به سکیل‌های دیگر موارد استفادهٔ بیشتر دارد.

تمرین: $55^{\circ}F$ چند درجهٔ کلوین می‌شود؟ حساب کنید.

حل: نخست درجهٔ فارنهایت را به سلسیوس تبدیل می‌کنیم:

$$T_C = 5/9(55-32) = 13^{\circ}c$$

اکنون درجهٔ سلسیوس را به کلوین تبدیل می‌کنیم: $T = 13 + 273.15 = 286.15k$

ســه سکیل درجه‌های حرارت در شکل (4-3) نشان داده شده. در شکل؛ درجه‌های معمول و مورد نیاز نشــانی شــده اند که با اســتفاده از آن‌ها، درجات هر سه سکیل را با هم مقایسه کرده می‌توانید:



شکل (4-3)، سکیل‌های درجات حرارت

در شــکل درجه‌های حــرارت مهم و مورد نیاز مانند نقاط انجماد و غلیان آب در هر سکیل دیده می‌شود.

4-2: انبساط حرارتی

اکثر مواد با حرارت دادن انبســاط می‌کنند؛ به طور مثال: لین‌های ســیم برق در تابســتان داغ به مقایســهٔ روزهای ســرد زمستان، انبساط نموده طویل‌تر می‌شــوند. در حقیقت، اکثر ترمامترها به شــمول ترمامترهای دیواری و طبی که تب مریض را مشــخص می‌کنند نیز به همین اســاس ساخته می‌شوند. انبساط یک مایع؛ مانند سیماب یا الکول، سبب می‌شود که ارتفاع مایع در ســتون ترمامتر تغییر نماید و درجات مختلف حرارت را نشــان بدهد. در این بحث، ما انبساط حرارتی اجسام را در ابعاد خطی (طولی)، سطحی و حجمی‌به طور مختصر مطالعه خواهیم کرد.

4-2-1: انبساط طولی

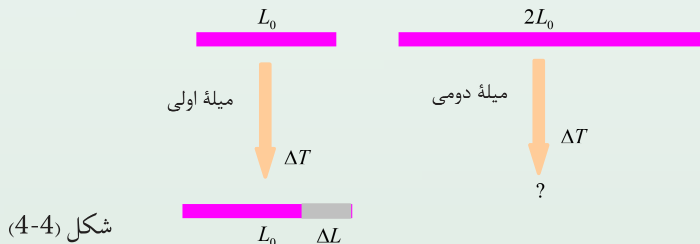
یک میلهٔ فلزی به طول L_0 را که دارای حرارت T_0 اســت در نظر می‌گیریم. تجارب نشــان می‌دهد که هرگاه این میله را حرارت دهیم و یا ســرد بســازیم، در هر دو حالت تغییرات در طول میله مســتقیماً متناســب با تغییرات در درجه‌های حرارت می‌باشد. پس اگر تغییرات درجهٔ حرارت را ΔT و تغییرات طول میله را ΔL بگوییم، این تزاید طول را به ریاضی چنین افاده کرده می‌توانیم:

$$\Delta L = cons\tan t\ \Delta T$$

ثابت تناسب در رابطهٔ فوق، به نوعیت ماده‌یی که میله از آن ساخته شده مربوط می‌باشد.

تمرین: هرگاه یک میله را به قدر ΔT حرارت دهیم، طول آن به قدر ΔL زیاد می‌شــود و اگر میلهٔ دومی‌را که دو چند میلهٔ اولی طول دارد و از عین مواد ســاخته شده است به اندازهٔ میلهٔ اولی حرارت دهیم آیا از دیاد طول در آن به قدر:

a. ΔL است؟، b. $2\Delta L$ است؟ و یا c. $\Delta L/2$ است؟



شکل (4-4)

استدلال و مباحثه:

فرض می‌کنیم که میله‌ی دومی از یک‌جا شـــدن و اتصال دو میلهٔ اولی مطابق شـــکل ساخته شده است:



شکل (5-4)

وقتی‌که حرارت به قدر ΔT تزاید نماید، پس طول هر حصهٔ میلهٔ اولی به قدر ΔL انبساط نموده و در نتیجه انبساط مجموعی هر دو میله به قدر $2\Delta L$ خواهد بود، که در حقیقت این اندازه برابر با انبساط کلی میلهٔ دومی‌می‌باشد. پس (b) جواب صحیح سؤال است؛ یعنی میلهٔ دومی‌به قدر $2\Delta L$، یعنی دو چند میله‌ی اولی، انبســاط می‌کند. از حل تمرین به این نتیجه می‌رســیم که: تغییر در طول، مستقیماً هم با طول اصلی L_o و هم با تغییرات حرارت ΔT متناسب است.

ثابت تناســب را به $\propto$ نشــان می‌دهند که آن را ضریب انبساط طولی می‌نامند. پس انبساط طولی را میتوان چنین تعریف کرد: $\Delta L = \alpha L_0 \cdot \Delta T$

واحد $\propto$ در سیستم SI، $K^{-1} = (C^{\circ -1})$ می‌باشد.

جدول ذیل، قیمت‌های αرا برای مواد مختلف نشان می‌دهد.

مواد	ضریب انبساط طولی (α)به (K^{-1})
سرب	29×10^{-6}
المونیم	24×10^{-6}
برنج	19×10^{-6}
مس	17×10^{-6}
آهن(فولاد)	12×10^{-6}
کانکریت	12×10^{-6}
شیشهٔ معمولی	11×10^{-6}
شیشهٔپایرکس	3.3×10^{-6}
کوارتز	0.5×10^{-6}

تمرین:

اگر ارتفاع برج آهنی ایفل در حرارت $22^\circ c$ از طرف روز $301m$ باشـــد، ارتفاع آن در $0^\circ c$ در شب چقدر خواهد بود؟

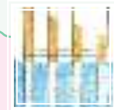
حل: تغییرات در ارتفاع را از رابطهٔ $\Delta L = \alpha L_0 \cdot \Delta T$ چنین می‌توان به‌دست آورد:

با استفاده از جدول داریم: $\alpha = 12 \times 10^{-6} K^{-1}$

همچنان داریم که: $\Delta T = 22^\circ c = 22k$

پس:

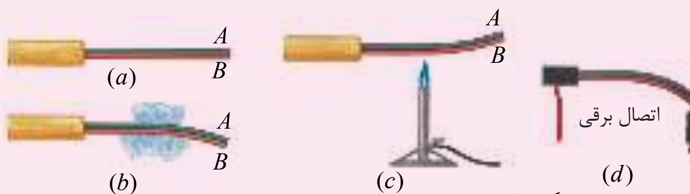
$$\Delta L = \alpha\, L_o \Delta T = (12 \times 10^{-6} K^{-1})(301m)(22K)$$
$$\Delta L = 7.9cm$$
$$L = L_0 - \Delta L = 30100cm - 7.9cm$$
$$L = 300.921m$$



فعالیت

آیا فلزات مختلف در اثر حرارت به طور متفاوت انبساط می‌کنند؟

مواد مورد ضرورت: شمع، تریشهٔ دو فلزه



شکل (6-4)

طرزالعمل

الف- تریشه‌یی را که از دو فلز مختلف A و B ساخته شده است، ابتدا به در تماس با پارچه‌های یخ قرار دهید، به شکل‌های (b و c) نظر انداخته و با گروپ خود روی مشاهدات‌تان بحث کنید و نتیجه بگیرید که چرا تریشـــه در جهت‌های متضاد انحنا پیدا می‌کند؟ و بعد میخانیکیت کار اتومات یک اتوی برقی را با اســـتفاده از این اصول در شکل (d) به همصنفان خود تشریح کنید. همچنان بگویید که چه حادثه‌یی رخ می‌دهد که برق اتو به طور اتومات قطع می‌شود؟

ب- با استفاده از آنچه از تجربه آموختید، اکنون تصاویر را مشاهده نموده بگویید که چرا پایپ لین‌های تیـــل یـــا گاز، پل‌ها و خطوط آهن را در فاصله‌های معین یا قطع و یا حلقه‌ها در آن ایجاد می‌کنند؟ برای توضیحات بیشتر از معلم خود کمک بخواهید.

4-2-2: انبساط حرارتی سطحی

آموختیم که با تغییرات حرارت، طول اجسام تغییر می‌کند. اکنون باید دانست که این تغییرات در طول، به صورت طبیعی سبب تغییرات درسطح اجسام نیز می‌شود. برای توضیح بیشتر فلز مربع‌شکلی را که طول هر ضلع آن (L) باشد در نظر می‌گیریم. در این صورت، مساحت اصلی این مربع $A = L^2$ می‌باشد. اگر حرارت این مربع به قدر ΔT تزاید نماید، در آن صورت هر ضلع این مربع به قدر ΔL تزاید نموده است. در نتیجه برای هر ضلع می‌توان نوشت: $L + \Delta L = L + \alpha L \Delta T$

پس مساحت نهایی مربع را این‌طور حساب کرده می‌توانیم:

$$A' = (L + \Delta L)^2 = (L + \alpha L\Delta T)^2$$
$$= L^2 + 2\alpha L^2 \Delta T + \alpha^2 L^2 \Delta T^2$$

اکنون اگر در نتیجهٔ تغییرات، اندازهٔ $\alpha \Delta T$ بسیار کوچک باشد، پس در تغییرات کوچک $\alpha^2 L^2 \Delta T^2$، از آن بسیار کوچک‌تر بوده و با صرف نظر از آن درمی‌یابیم که:

$$A' \approx L^2 + 2\alpha L^2 \Delta L = A + 2\alpha A\alpha T$$

در نتیجه، قیمت تغییر در ΔA را چنین می‌توان نوشت: $\Delta A = A' - A \approx 2\alpha A \Delta T$

اگر توجه کنید، دیده می‌شود که بین رابطه‌ی انبساط طولی و انبساط سطحی تشابه کامل وجود دارد، فقط در این‌جا طول در فورمول با مساحت عوض شده و ضریب انبساط (α) هم دو چند گردیده. این محاسبه به طور نمونه در یک مساحت مربع صورت گرفت، در حالی‌که این رابطه بالای هر نوع سطح قابل تطبیق می‌باشد؛ به طور مثال: اگر مساحت یک دایره $(A = \pi r^2)$ مورد نظر باشد، در این صورت نیز تزاید مساحت ΔA در اثر تزاید حرارت Δt همان $2\alpha A\Delta t$ خواهد بود.



تحقیق کنید

یک واشر در وسط خود دارای یک سوارخ حلقه‌یی است. اگر به این واشر حرارت داده شود، آیا سوراخ واشر:

a. انبساط می‌کند؟ b. انقباض می‌کند؟ c. در حالت اول باقی می‌ماند؟

تجربه کنید و دربارهٔ نتیجه توضیح دهید.

4-2-3: انبساط حجمی



شکل (4-7)

از تحقیق درس قبل، نتیجه گرفته‌اید که با حرارت دادن، مساحت سوراخ افزایش می‌یابد. آیا فکر می‌کنید که حجم خالی‌گاه ظرف یا یک پیاله هم به اثر حرارت دادن افزایش خواهد یافت؟

چنان‌چه در شکل (4-7) مشاهده می‌کنید، یک بلاک که قسمتی از داخل مکعب است، از مکعب جدا شده است. بعد از حرارت دادن سیستم دیده می‌شود که هم‌زمان با ازدیاد حجم داخل مکعب، در حجم بلاک هم افزایش به عمل می‌آید و مانند حالت اول، بلاک در مکعب داخل شده می‌تواند.

اکنون برای محاسبه‌ی تغییرات حجم مکعب می‌دانیم که اگر طول اصلی ضلع مکعب را L بگوییم، حجم آن $(v = L^3)$ می‌باشد. تزاید درجهٔ حرارت منتج به تزاید حجم مکعب گردیده که آن را چنین می‌توان حساب کرد:

$$V' = (L+\Delta L)^3 = (L+\alpha\, L\,\Delta T)^3$$
$$= L^3 + 3\alpha\, L^3\Delta t + 3\alpha^2\, L^3\Delta T^2 + \alpha^3 L^3\Delta T^3$$

با صرف نظر از قیمت‌های کوچک دو حد اخیر معادلهٔ $3\alpha^2 L^3\Delta T^2$ $\alpha^3 L^3\Delta T^3$خواهیم داشت:

$$V' = L^3 + 3\alpha\, L^3\Delta t = V + 3\alpha\, V\Delta T$$

پس تغییرات حجمی Δv را چنین به دست می‌آوریم: $\Delta V = V' - V \approx 3\alpha V\Delta T$

رابطهٔ اخیر برای هر نوع حجم دیگر قابل تطبیق است.

پس به طور عموم، انبساط طولی نیز مانند انبساط حجمی‌توضیح شده می‌تواند با این تفاوت که، ضریب انبساط حجمی‌برابر با 3α است و آن را به حرف β نشان می‌دهند و چنین تعریف می‌کنند:

$$\Delta V = \beta V\,\Delta T = 3\alpha\, V\,\Delta T$$

واحد β در سیستم SI، $K^{-1} = (c^{\circ -1})$ است.

قیمت‌های β را برای برخی مایعات در جدول ذیل دیده می‌توانید:

مواد	ضریب انبساط حجمی (B) به (K^{-1})
ایتر	1.51×10^{-3}
کاربن تتراکلوراید	1.18×10^{-3}
الکول	1.01×10^{-3}
بنزین	0.95×10^{-3}
تیل زیتون	0.68×10^{-3}
آب	0.21×10^{-3}
سیماب	0.18×10^{-3}

به یاد داشته باشید که چون تغییر نیز حرارت $1^{\circ}c$، عین قیمت تغییر درجهٔ حرارت $1k$ را دارد، در انبساط حرارتی اجسام نیز تغییر درجهٔ حرارت Δt می‌تواند هم‌زمان به سکیل درجهٔ حرارت سلسیوس و یا کلوین ارایه شود.

مثال: یک فلاسک مسی که $150cm^3$ حجم دارد، تا لبهٔ آن از تیل زیتون پر شده است. اگر درجهٔ حرارت سیستم از $6^{\circ}c$ به $31^{\circ}c$ تزاید نماید، به چه اندازه تیل از فلاسک بیرون خواهد ریخت؟

حل: $\Delta T = 25^{\circ}c = 25k$

در سیستم به فلاسک و به تیل زیتون هم زمان حرارت داده شده است. پس انبساط تیل و فلاسک را به طور جداگانه چنین محاسبه می‌کنیم:

با استفاده از جدول قبلی، دیده می‌شود که تیل زیتون نسبت به فلاسک مسی بیشتر انبساط نموده و سبب ریختن تیل از فلاسک می‌شود. برای دریافت تغییرات حجمی تیل زیتون می‌توانیم بنویسیم:

$$\Delta V_{oil} = \beta v \Delta T$$
$$= (0.68\times10^{-3}k^{-1})(150cm^3)(25k) = 2550\times10^{-3}cm^3$$
$$= 2.55cm^3$$



شکل (8-4)

اکنون تغییرات حجمی‌فلاسک را چنین حساب می‌کنیم:

$$\Delta V_{flask} = 3 \propto v \Delta T$$
$$= 3(17\times10^{-6}k^{-1})(150cm^3)(25k)$$
$$= 0.19cm^3$$

فرق تغییرات حجمی‌فلاسک و تیل قرار ذیل است:

$$\Delta V_{oil} - \Delta V_{flask} = 2.6cm^3 - 0.19cm^3 = 2.4cm^3$$

این فرق $(2.4cm^3)$ عبارت از حجم تیلی است که از فلاسک بیرون ریخته شده.

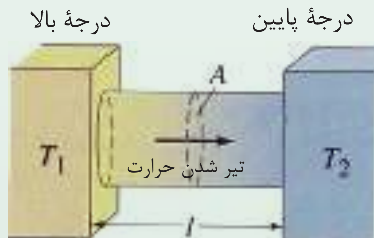
تبصره! اگر سیستم عوض گرم شدن، سرد می‌شد، در آن صورت حجم تیل نسبت به فلاسک بیشتر و به سرعت باخته می‌شد و در نتیجه، سطح تیل زیتون در فلاسک پایین می‌آمد.

تمرین: فرض کنید این بار فلاسک را تا لبه، عوض زیتون از بنزین پر می‌کنید. چه انتظار دارید؛ آیا با دادن حرارت $20^{\circ}c$ به سیستم، بنزین باز هم برابر به همان حجم زیتون از فلاسک بیرون خواهد ریخت و یا کمتر و یا بیشتر از آن؟ حجم بنزین را حساب نموده با حجم قبلی مقایسه کنید.

جواب: بنزین بیشتر می‌ریزد، $\Delta V = 2.85cm^3$

4-3: گرادینت درجهٔ حرارت

برای شناخت بهتر هدایت حرارتی در طول یک میلهٔ استوانه‌یی، انتشار حرارت را در نظر میگیریم. طبق شکل(9-4) دو مقطع A یک میلهٔ استوانه‌یی را که به فاصلهٔ L یکی از دیگری دور و درجهٔ حرارت هریک به ترتیب T_2 , T_1 است، در نظر می‌گیریم. تجربه نشان می‌دهد که در وقتی dt از مقطع A حرارت dQ می‌گذرد. درین حالت اندازهٔ جریان حرارت، $\frac{dQ}{dt}$ است. این اندازه به نام «جریان حرارت» یاد شده و به H نشان داده می‌شود.



شکل (9-4)

تجربه نشـــان می‌دهـــد که جریان حـــرارت $H=\frac{dQ}{dt}$ بالمقابل یا به طور مســـتقیم با مقطع مســـاحت A و تفاوت درجهٔ حرارت T_2-T_1 و به طور معکوس با فاصلهٔ L متناســـب است. ضریب تناسب k به نام «هدایت حرارتی ماده» یا جسم یاد می‌گردد.

$$H=\frac{dQ}{dt}=KA\frac{T_2-T_1}{L}$$

تفاوت نســـبت درجهٔ حرارت بر واحد طول، یعنی کمیـــت $\frac{T_2-T_1}{L}$، به نام «گرادینت درجهٔ حرارت» یاد می‌شـــود. گرادینت درجهٔ حرارت یک کمیت منفی اســـت؛ زیرا حرارت به طرف کاهش (کمی) حرکت می‌کند، یعنی از حرارت درجهٔ بالا به طرف حرارت درجهٔ پایین جریان می‌نماید. در رابطهٔ فوق، قیمت عدد k به نوع جســـم مربوط اســـت. موادیی‌که k آن‌ها زیاد باشـــدهادی بهتر حرارت و آن‌هایی‌که k آن‌ها کم است،هادی‌های خراب و یا عایق هستند. در هر نوع جسم متجانس که مساحت مقطع آن در همهٔ نقاط یک‌سان است، جریان حرارت بر مساحت مقطع A عمود می‌باشد. واحد جریان حرارت H در سیستم SI ژول بر ثانیه یا وات است. اگر معادلهٔ آخری را نسبت به k حل نماییم، پس داریم که:

$$K=\frac{dQ\cdot L}{A(T_2-T_1)dt}$$

از رابطهٔ فوق واحد k در سیستم SI، $\frac{cal}{cm\cdot c^{\circ}\cdot s}$ و یا: $\frac{w}{m\cdot k}=\frac{J\cdot m}{m^2\cdot k\cdot s}$ است.

مثال: در یک صنف، مســـاحت هر شیشـــهٔ کلکین $450cm^2$ و ضخامت آن‌ها $5mm$ است. اگر بیرون از صنف، درجهٔ حرارت $15c^{\circ}$ و در داخل صنف درجهٔ حرارت $25c^{\circ}$ باشـــد، مقدار حرارتی را که در جریان ده دقیقه از شیشه‌ها خارج می‌گردد محاسبه نمایید.

حل: $\Delta Q = ?$

$$T_2 - T_1 = 25^\circ c - 15^\circ c = 10^\circ c$$
$$A = 450cm^2$$
$$L = 5mm = 0{,}5cm$$
$$t = t_2 - t_1 = 10\min = 60s$$
$$k = 0{,}0024\frac{cal}{cm\cdot^\circ c\cdot s}$$

داریم که:

$$Q = K\frac{A(T_2 - T_1)\times t}{L}$$
$$\Delta Q = \frac{KA(T_2 - T_1)\times \Delta t}{L}$$
$$\Delta Q = \frac{0.0024\times 450\times 10\times 600}{0.5}$$
$$\Delta Q = 2.160\times 6000 = 12{,}960cal$$
$$\Delta Q = 12{,}960cal$$

جدول قیمت‌های عددی هدایت حرارتی بعضی از مواد:

مواد	K به $(\frac{w}{m\cdot k})$	مواد	K به $(\frac{w}{m\cdot k})$	مواد	K به $(\frac{w}{m\cdot k})$
فلزات		اجسام جامد مختلف		گازها	
آلمونیم	205.0	شیشه	0.8	هوا	0.024
برونز	109.1	یخ	1.6	ارگون	0.016
مس	385.5	کنکریت	0.8	هیلیوم	0.14
سرب	34.7	چوب	0.2 – 0.4	هایدروجن	0.14
زرسفید	406.0	پشم(نمد)	0.04	اکسیجن	0.023
پولاد	50.2				

در جدول دیده شـود که از جملهٔ فلزات، زر سـفید از همه بیشـتر هدایـت حرارتی را دارا می‌باشـد. غیرفلزات به صورت عموم هدایت حرارتی کمتـر دارند. آب و مواد آبگین دیگر یا مایعات،هادی خوب حرارت نبوده و گازها هم هدایت حرارتی کوچک دارند. موادی‌که هدایت برقی آن‌ها زیاد است، هدایت حرارتی آن‌ها نیز بیشتر می‌باشد. برای اکثر فلزات، نسبت بین هدایت برقی و هدایت حرارتی ثابت است که این حقیقت تجربی به نام قانون ویدمن فرانس (Wiedemman - franz) یـاد می‌گـردد. از این قانون معلوم می‌شـود که میخانیکیت هدایت برق و هدایت حرارتی هر دو یک‌سان است.

از تفـاوت هدایت حرارتی اجسـام جامد در زنده‌گی روزمره اسـتفادهٔ زیاد صورت می‌گیرد. فلزات از همه‌هادی خوب‌تر حرارت و چوب، نمد، شیشـه، گرانیت، پنبه، پشـم، پلاسـتیک سـیاه و رابرهادی‌های بسـیار خفیف و یا عایق اند. ظروف پخت‌وپز مثل دیگ، تاوهٔ نان‌پزی، چای‌جوش، چاینک و غیره از فلزات ساخته شده اند؛ زیرا با داشتن هدایت خوب حرارتی، در وقت و حررات کم، مواد خوراکی در آن‌ها پخته می‌شود. اما دسته‌های ظروف فوق را از چوب و یا پلاسـتیک می‌سازند تا هنگام برداشتن از بالای آتش، به دلیل این‌که چوب و پلاستیک عایق حرارت هسـتند، دست‌های ما را نسوزانند. یخ‌دان‌های شیریخ و آیس‌کریم از دو دیوار قلعی و آهن سـاخته می‌شـوند و فضای بین دیوارها را از نمد و یا کدام مادهٔ عایق دیگر پُر می‌کنند که‌هادی‌های ضعیف حرارت بوده و نمی‌گذارند که حرارت محیط در آن داخل شود. لباس‌های پشمی، هادی ضعیف حرارت بوده و بدین لحاظ بدن انسان را در زمستان گرم نگه می دارد و نمی‌گذارد حرارت بدن به محیط بیرونی انتقال یابد.

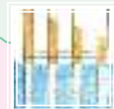
در مقایسـهٔ با یک پیراهن، دو پیراهن که از یک نوع تکه ساخته شده باشند، وجود انسان را در موسم سرما گرم‌تر نگه‌میدارد؛ زیرا در بین دو پیراهن یک قشر نازک هوا تشکیل گردیده، و چون هواهادی ضعیف حرارت است، حرارت بدن به فضا انتقال نمی‌کند. در کشورهایی که زمستان بسیار سرد دارند، به پنجره‌های تعمیرات و اتاق‌ها دو شیشه می‌دهند، به این ترتیب که بین هر دو شیشه چند سانتی‌متر فاصله موجود بوده باشد. فضای بین شیشه‌ها که از هوا پُر و هوا هم‌هادی ضعیف حرارت اسـت، نمی‌گذارد کـه هوای گرم اتاق بیرون انتقال کند و بدین ترتیب، از سرد شدن هوای اتاق جلوگیری می‌شود. از این روش در کشورهایی‌که هوای آن گرم است نیز استفاده به‌عمل می‌آید؛ زیرا از طریق این پنجره‌ها هوای گرم محیط هم به اتاق‌ها داخل نمی‌گردد و اتاق‌ها سرد باقی می‌ماند.

4-3-1: انتقال حرارت به‌واسطۀ جریان (کانوکشن)

به آسـانی می‌توانیم از طریق کانوکشـن، انتقال حرارت را با بی‌جا کردن و به حرکت درآوردن ذرات جسم گرم مشاهده نماییم. با حرکت دادن جسم گرم از یک‌جا به جای دیگر، جسم مذکور حـرارت را نیـز با خود انتقال می‌دهد. در عملیۀ کانوکشـن، یک کتلۀ هوا و یا ذخایر آب که در یک‌جا گرم شـده اند، به جای دیگر انتقال داده می‌شـوند. کانوکشـن پروسه‌یی ست که در آن حرارت از یک‌جا به جای دیگر توسط حرکت واقعی ذرات یا مالیکول‌های گرم انتقال می‌یابد.

4-3-2: توضیح کانوکشن

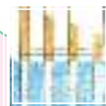
از همـه اول‌تر قابل تذکر اسـت که انتقال حرارت از طریق کانوکشـن، تنها در مایعات و گازها صورت می‌گیرد. وقتی‌که به مایعات و یا گازها از سـمت پایین حرارت داده شود، انتقال حرارت خود به خود صورت انجام می‌شود و چون کثافت طبقۀ پایانی مایع گرم، از سبب انبساط حجم آن کم می‌شود، مالیکول‌های قسمت تحتانی مایع به طرف بالا رفته و با مالیکول‌های سرد طبقۀ بالا یک‌جا می‌شـود و آن‌ها را نیز گرم می‌کند، و در عوض آن، مالیکول‌های سرد بالا که کثافت آن زیاد اسـت، به طبقۀ پایین آمده و این‌ها هم به نوبۀ خویش گرم می‌شـوند، که این جریان به همین شـکل ادامه می‌یابد. در گازها هم انتقال حرارت از طریق کانوکشـن به همین ترتیب صورت می‌گیرد. هنگامی‌که یک جسم گرم در جریان هوا قرار می‌گیرد، مالیکول‌های هوا را گرم نموده و هوای گرم که کثافت آن کم است، به طرف بالا می‌رود و هوای سرد جای آن‌را می‌گیرد.
برای فهم بهتر کانوکشن، شاگردان تجربۀ آسان ذیل را انجام دهند:



فعالیت

دروازۀ یک اتاق گرم را کمی‌باز و یا نیم‌کش نمایید. اکنون یکی از شـاگردان یک شـمع روشن را در قسمت بالای دروازه به دست بگیرد. شما خواهید دید که شعلۀ شمع به طرف بیرون اتاق کج می‌شود. این به آن معنا است که هوای گرم اتاق که از سـبب کمی‌کثافت در قسـمت بالای اتاق قرار دارد، از اتاق خارج می‌گردد. این بار شاگردان همان شـمع را در حصۀ پایین دروازه به دسـت بگیرند. در این حالت شـما خواهید دید که شعلۀ شمع به سمت داخل اتاق کج می‌شود. این نشان می‌دهد که هوای سرد بیرون در داخل اتاق می‌گردد. بدین ترتیب شاگردان به آسانی می‌توانند جریان (کانوکشن) حرارت را در گاز (هوا) به چشم های خود ببینند.

در تجربهٔ ذیل، انجام شدن پروسهٔ کانوکشن را در مایعات مشاهده کنید:



فعالیت

در یک ظرف شیشه‌یی (فلاسک) که از آب پر باشد، یک مقدار پودر KM_nO4 را انداخته و به فلاسک حرارت بدهید. مشاهده خواهید کرد که خطها و یا رگ‌های رنگهٔ آب به طرف بالا می‌رود و در جوانب فلاسک به حرکت می‌افتند.

در عمق و یا قاعدهٔ ظرف، آب گرم شده و به سمت بالا حرکت می‌کند. در عوض از طرف بالا آب یخ به قاعدهٔ فلاسک آمده، گرم می‌شود و دوباره به سمت بالا صعود می‌نماید. هر مالیکول آب یا مایع به نقطهٔ گرمی‌رسیده، حرارت می‌گیرد و دوباره به طرف بالا حرکت می‌کند، که ما این‌همه را به شکل خطوط رنگهٔ آب مشاهده می‌نماییم.



شکل (4-10)

4-3-3: انواع کانوکشن

کانوکشن دو نوع است: اجباری (مصنوعی) و مستقل (طبیعی). در کانوکشن اجباری بالای مواد گرم کار صورت می‌گیرد تا حرارت به جاهای گرم انتقال داده شود. مثلاً پکه کردن آتش یا ذغال تازه و یا هم پمپ کردن آب گرم در سیستم مرکزگرمی تعمیرات.

در سیستم مرکزگرمی، آب گرم از بایلر به مرکزگرمی‌تعمیرات پمپ می‌شود تا در آن‌ها جریان پیدا کند و این آب گرم حرارت خویش را از طریق کانوکشن توسط نل‌ها به تعمیرات انتقال می‌نماید. نوع دوم، کانوکشن طبیعی یا مستقل است. این نوع کانوکشن از اثر تفاوت کثافت یا فشار هوای دو محیط گرم و سرد به وجود می‌آید. منطقهٔ گرم دارای کثافت کم یا فشار کم است و منطقهٔ سرد کثافت زیاد و یا فشار زیاد دارد. از این سبب، هوا به قسم طبیعی و بدون مداخلهٔ عامل خارجی، از نواحی‌یی که دارای کثافت زیاد (فشار بلند) است، به مناطق حاوی کثافت کم (فشار پایین) جریان پیدا می‌کند که این جریان به نام «باد» یاد می‌شود. به عبارت دیگر، هوای گرم بلند رفته و هوای سرد جای آن‌را می‌گیرد، که در نتیجهٔ آن جریان هوا (باد) به وجود می‌آید. کانوکشن در هواشناسی(میترولوژی) نقش مهم دارد؛ به وجود آمدن بادها به جز بلند رفتن هوای گرم و پایین آمدن هوای سرد، چیز دیگری نیست.

4-3-4: انتقال حرارت به وسیلهٔ تشعشع (*Radiation*)

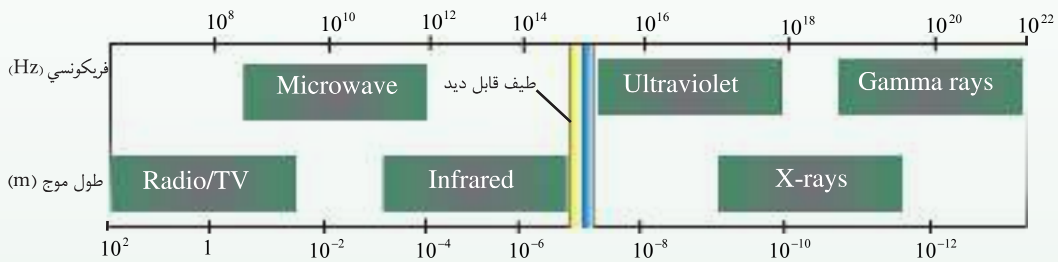
طریقه‌ی دیگری که توسط آن حرارت منتشر می‌گردد، تابش (تشعشع) است. به طور مثال هنگامی‌که دست خود را زیر گروپ برق قرار دهیم، احساس گرمی می‌کنیم. این عمل نشان می‌دهد که دست ما انرژی تشعشعی را جذب می‌کند. انتقال این انرژی توسط هدایت صورت نگرفته است، زیرا هواهادی ضعیف حرارت است. هم‌چنین انتقال این انرژی توسط کنویکشن صورت نمی‌گیرد، زیرا هوای گرم به طرف بالا صعود می‌کند. انتقال حرارت از یک‌جا به جای دیگر از طریق تشعشع بدون محیط مادی صورت می‌گیرد، یا به عبارت دیگر، حرارت از طریق تشعشع، به خلأ هم انتقال می‌کند. حرارت آفتاب تنها از همین طریق به زمین می‌رسد. اگر این طور نمی‌بود، زمین توسط آفتاب گرم شده نمی‌توانست.

انرژی حرارتی آفتاب توسط هدایت و کنویکشن به زمین نرسیده، بلکه توسط یک نوع از امواج الکترومقناطیسی منتقل می‌گردد. امواج الکترومقناطیسی به اشکال مختلف منتشر می‌گردد، مانند امواج رادیو، اشعهٔ ماورای بنفش، اشعهٔ (x)، اشعهٔ گاما (γ) و اشعهٔ تحت قرمز. یگانه فرق در ماهیت اصلی این امواج عبارت از طول موج این‌ها است، چنان‌چه طویل‌ترین طول موج را امواج رادیو و کوتاه‌ترین طول موج را اشعهٔ گاما که $(0,01A^{\circ})$ است و از مواد رادیواکتیو تولید می‌شود، دارد.

تشعشع حرارتی توسط اشعهٔ تحت قرمز منتقل می‌گردد. وقتی‌که این تشعشات به پارچهٔ سنگ و یا اجسام دیگر بتابد، مالیکول‌های آن به اهتزاز درآمده و باعث تولید حرارت می‌شود، و از همین سبب است وقتی‌که اشعهٔ آفتاب به وجود انسان می‌رسد، انسان احساس گرمی‌می‌کند. در طیف نور سفید علاوه بر رنگ‌های مرئی (هفت رنگ طیف)، اشعهٔ غیر مرئی نیز وجود دارد. این اشعه در دو طرف طیف مرئی واقع گردیده است، قسمتی‌که قبل از اشعهٔ قرمز قرار گرفته، اشعهٔ تحت قرمز و قسمتی‌که پس از بنفش است، اشعهٔ ماورای بنفش نامیده می‌شود. اشعهٔ تحت قرمز بین طول موج‌های $0,8\mu$ و 343μ قرار دارد.

در اشعهٔ تحت قرمز طول موج‌های کوتاه‌تر از 1,5µ از جلد خارج می‌شود و بقیه جذب شده و تولید حرارت می‌کند، طول موج‌های بلندتر از 4µ به وسیلهٔ اغلب مواد جذب می‌شود.

بــه طور خلاصه در هدایت، انتقــال انرژی حرارتی از یک مالیکول بــه مالیکول دیگر در اثر تصادم مالیکول‌ها صورت می‌گیرد. در کنویکشن انتقال انرژی حرارتی با مالیکول‌ها هم‌زمان صورت می‌گیرد و در انتقال حرارت از طریق تابش (تشعشع)، امواج الکترومقناطیسی انرژی را از اجســام داغ به اجسام سرد می‌رســانند که این نوع انتقال انرژی در خلا هم امکان‌پذیر است.



شکل (4-11)

طبق نظریهٔ ماکســویل، تشعشــع حرارتی از جسم گرم به جسم ســرد در محیط غیر مادی عبارت از انتقال حرارت می‌باشد.

تشعشــع حرارتی مانند تشعشــع نور، یک موج الکترو مقناطیســی اســت که به سرعت نور پخش می‌گردد و از تمام قوانین تشعشــع نور پیروی می‌کند. از این ســبب، مطالعهٔ تشعشع حرارتــی به فزیک نور ارتباط دارد. بنابرین از تفصیل زیاد خودداری نموده و تنها چند نقطهٔ مهم‌یادآوری می‌کنیم.

هرجســم گرم، حرارت خود را به قســم تشعشع از دســت می‌دهد و هم تشعشع حرارتی را جذب می‌نماید. وقتی‌که درجهٔ حرارت جسم با درجهٔ حرارت محیط چهار اطراف آن مساوی گردد، گفته می‌شود که جسم با محیط اطراف آن در تعادل حرارتی قرار دارد. جسمی‌که از اثر تشعشع حرارت زیاد را جذب نماید، دراین حالت درجهٔ حرارت جسم مذکور بلند رفته و گرم می‌شود. وقتی‌که یک جسم از طریق تشعشع آن قدر حرارت را از دست بدهد که نسبت به حرارت جذب شده از محیط اطرافش بیشتر باشد، در آن صورت جسم سرد می‌گردد.

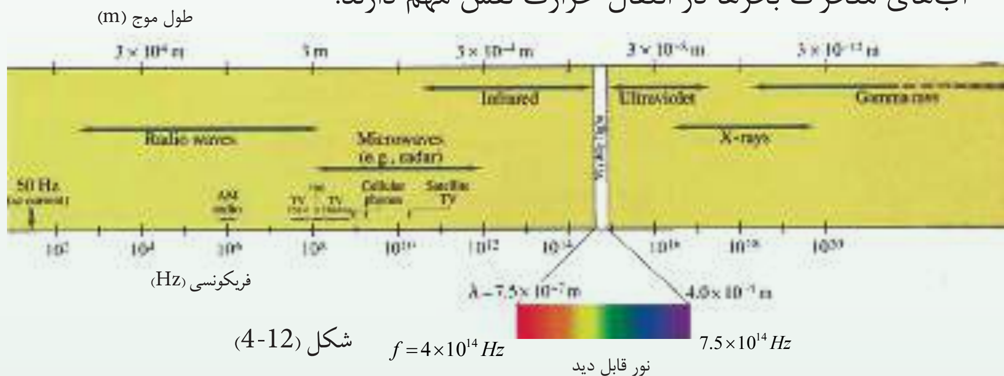
تشعشع حرارتی دارای مشخصات ذیل است:

1 - تشعشـــع حرارتی دارای طبیعت موج الکترومقناطیسی است و در خلأ قابلیت انتشار را دارد، به محیط مادی احتیاج نداشته و به سرعت نور پخش می‌گردد.

2 - تشعشع حرارتی هم مثل نور در امتداد خط مستقیم منتشر می‌شود.

3 - تشعشع حرارتی از قانون مربع معکوس پیروی می‌نماید، یعنی شدت تشعشع با مربع فاصله به طور معکوس متناسب است.

4 - تشعشـــع حرارتـــی مانند امواج نوری؛ انعکاس، انکســـار، تداخل، تفرق و اســـتقطاب می‌نماید. طول موج تشعشـــع حرارتی در طیف الکترومقناطیسی از طول موج رنگ سرخ طویل‌تر بوده و به نام infrared یاد می‌شود. طول موج تشعشع حرارتی در طیف الکترو مقناطیسی از $8 \cdot 10^{-5} cm$ الی $0.04 cm$ است. باید گفت که تغییرات اقلیم و درجۀ حرارت یـــک محیط و جریان کتله‌های آب بحرها نقش تعیین کننده را بازی نموده اســـت. این آب‌های متحرک بحرها در انتقال حرارت نقش مهم دارند.



شکل (4-12)

4-3-5: مقادیری که بر جذب حرارت تأثیر می‌گذارد

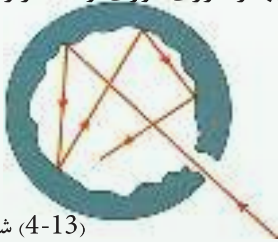
تجارب مختلف نشان می‌دهد که در یک زمان معین، مقدار انرژی تابشی (تشعشعی) منتشر شده از یک جسم، مربوط به جنسیت و درجۀ حرارت آن جسم می‌باشد. بنابرین مقدار انرژی تشعشـــعی منتشره در یک ثانیه از واحد ســـطح را به نام قدرت انتشار (Emissive Power) یاد می‌کنند. زمان‌که تشعشـــع به جســـم رسید، مقداری از آن بدون انتقال جذب می‌گردد و مقدار باقی ماندۀ آن منعکس می‌شـــود. نســـبت انرژی جذب شده بر مجموع انرژی وارده، به نام قابلیت جذب (Abserbotivity) یاد می‌شود. اگر انرژی مجموعی وارده را به E_1 و انرژی جذب شده را به E_2 و قابلیت جذب را به ε نشان دهیم، در این صورت داریم که:

$$\varepsilon = \frac{E_2}{E_1}$$

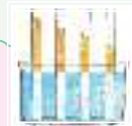
4-4: جسم سیاه مطلق

جسـم سـیاه مطلق به جسمی گفته می‌شود که به صورت مکمل تمام نور وارد شده بر آن بدون در نظر گرفتن جهت، ساختار طیفی و قطبی شدن، توسط آن جذب شده و کوچک‌ترین قسمت آن را نه منعکس نموده و نه هم از خود عبور می‌دهد. قابلیت انتشـار (e) جسـم سـیاه مطلق مسـاوی به یک اسـت که به نام «جاذب ایدیال» نیز یاد می‌گردد. یک جاذب ایدیال، تشعشـع کنندهٔ خوب هم است. اگر چه در طبیعت جسم سیاه مطلق موجود نیست، ولی مثال آن عبارت از کرهٔ میان خالی‌یی است که در یک قسمت آن، یک شگاف بسیار کوچک وجود دارد و سطح داخلی آن سـیاه شده است. اگر مطابق شـکل (4-13) شعاع نور را از طریق این سوراخ بر کره وارد نماییم، شعاع مذکور بعد از چندین مرتبه انعکاس توسط سطح داخلی کره جذب می‌شود. به عبارت دیگر، جسم دارای سطح جذب کننده و منتشر دهندهٔ بهتر انرژی نوری و یا حرارتی، به نام جسم سیاه یاد می‌گردد.

هنگامی‌که جسـم سیاه سرد باشد، تشعشع را منتشر نمی‌کند؛ ولی وقتی‌که گرم باشـد، در مقایسـه با هر جسـم دیگری‌که در همان درجهٔ حرارت واقع باشد، تشعشع حرارتی بیشتر را انتشار می‌دهد.



شکل (4-13)



فعالیت

دو عدد ترمامتر A و B را در بین یک فلاسـک که هوای آن تخلیه شـده باشـد (تا عمل کنویکشن صورت نگیرد) قرار شـکل (4-14) قرار داده و آن‌را در مقابل شـعاع آفتاب می‌گذاریم. در صورتی‌که هر دو ترمامتر دارای ابعاد مساوی و از یک ماده سـاخته شده باشند، مشـاهده خواهید کرد که هر دو به یک اندازه حرارت اخذ می‌نمایند. اما اگر ترمامتر A سـیاه رنگ شـود و ترمامتر B توسط نقره ملمع کرده شـود، در آن صورت ترمامتر A نسبت به B تشعشعات بیشتر را جذب کرده و در نتیجه، درجهٔ حرارت ترمامتر A نسـبت به B به سـرعت بلند می‌رود. ترمامتر سـیاه شده تقریباً 97 فیصد تشعشـع وارده را جذب می‌کند؛ در حالی‌که ترمامتر B تقریباً 10 فیصد تشعشـع را جذب می‌نماید. در مرحلهٔ دوم، هر دو ترمامتر را از بین فلاسک کشیده و داخل یخچال قرار دهید.

درجهٔ حرارت ترمامتر A که سـیاه است، نسبت به ترمامتر B که سفید است به سـرعت پایین آمده و سـقوط می‌کند. بنابرآن نتیجه می‌گریم: اجسامی‌که تشعشـع را خوب جذب می‌کنند، انتشار دهندهٔ خوب نیز می‌باشند و همیشه مقدار جذب تشعشع، مساوی با مقدار انتشار آن می‌باشد.



شـکل (4-14)، دو عـدد ترمامتـر A و B داخل فلاسک

4-5: قانون تشعشع

اشــکال (a) و (b) در شــکل (4-15) نشــان می‌دهد که: اگر مقدار انرژی تشعشعی وارده در واحد وقت در فی واحد سطح بالای هر دو ترمامتر A و B که پیش از این در تجربه مشاهده کردید مساوی باشد، 0_1E و 0_2E مقادیر انرژی تشعشعی جذب شده در واحد سطح اند و اگر مقدار انرژی‌هایی را که در آن‌ها منعکس می‌شود، به r_1E و r_2E و همچنان مقدار انرژی منتشره را در فی واحد سطح به s_1 و s_2 نشان دهیم، در این صورت داریم که:

$$E = o_1E + r_1E$$

$$E = E(o_1 + r_1) \Rightarrow 0_1 + r_1 = 1$$

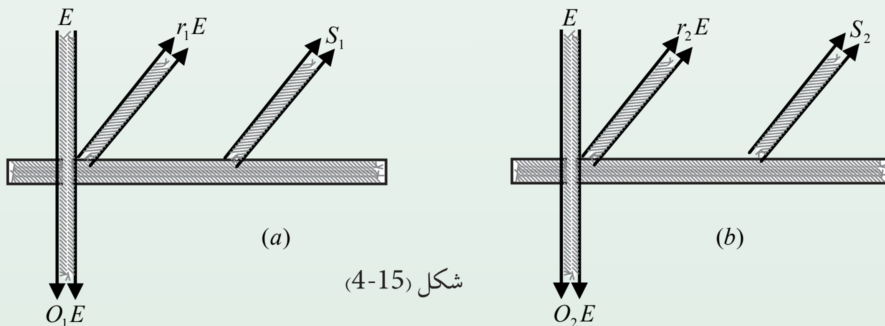
و همچنان: $E = o_2E + r_2E \Rightarrow o_2 + r_2 = 1$

از طرف دیگر: $o_1E = s_1$ و $o_2E = s_2$

پس از وضع قیمت‌ها می‌توان نوشت: $E = \frac{s_1}{o_1}$ ....(1) و $E = \frac{s_2}{o_2}$ ....(2)

از مقایسهٔ روابطه (1) و (2) به مشاهده می‌رسد که: $\frac{s_1}{o_1} = \frac{s_2}{o_2}$ و یا: $\frac{o_1}{o_2} = \frac{s_1}{s_2}$

رابطهٔ اخیر به اثبات می‌رساند که نسبت مقدار تشعشعات جذب شده و نسبت مقدار تشعشع منتشــر شدهٔ هر یک از دو سطحی که جنسیت‌شــان یکی و درجهٔ حرارت آن‌ها ثابت است، با هم مســاوی اند. مســلماً قابلیت جذب در مواد مختلف تغییر می‌کند، بنابرین اجسامی‌که دارای رنگ ســیاه باشــند، قابلیت جذب آن‌ها نزدیک به واحد است، یعنی تقریباً تمام انرژی تشعشــعی را جذب کرده و انعکاس صورت نمی‌گیرد، و اجســامی‌که تمام انرژی تشعشعی را جذب کنند، به نام جسم سیاه (Black body) یاد می‌شوند.

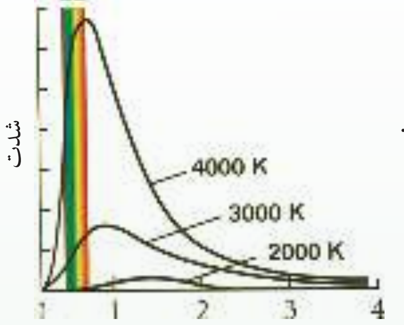


شکل (4-15)

4-5-1: قانون وین (*Wien's Law*)

طول اعظمی‌موج تشعشع جسم سیاه با درجهٔ حرارت مطلق تشعشع مذکور به طور معکوس متناسب است، یعنی: $\lambda_m \alpha \frac{1}{2} \Rightarrow \lambda_m = K \cdot T^{-1}$

و یا: $K = \lambda_m T = 2.9 \times 10^{-3} m \cdot k$



شکل (4-16)

در رابطهٔ فوق، $2{,}90 \cdot 10^{-3} m \cdot k$ به نام ثابت وین یاد می‌شود.

برای وضاحت بهتر قوانین ستیفان – بولتزمن و وین، در شکل (4-16) گراف توزیع انرژی در طیف تشعشع یک جسم سیاه در سه درجهٔ حرارت مختلف ترسیم شده است.

در شکل (4-16)، از گراف معلوم می‌شود که با ازدیاد درجهٔ حرارت، سیلان (شدت) انرژی تشعشع شده بیشتر گردیده و طول موج‌های مربوط تشعشع اعظمی(λ_m) کم شده است. دیده می‌شود که جای طرف چپ منحنی توزیع اعظمی‌تغییر می‌نماید، که این قانون به نام قانون تغییر جای وین یاد می‌گردد. از رابطهٔ فوق می‌توان درجهٔ حرارت سطح خارجی آفتاب را تعیین نمود، که طولانی ترین طیف امواج سطح آن در طیف نور مرئی (قابل دید) در حدود $500nm$ می‌باشد. از رابطهٔ قانون وین می‌توان نوشت که:

$$T = \frac{K}{\lambda_m} = \frac{2.90 \times 10^{-3} m \cdot k^{\circ}}{500nm} = \frac{2.9 \times 10^{-3} m \cdot k^{\circ}}{500 \times 10^{-9} m} = \frac{2.9 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-7}}$$

$$T = \frac{2.9}{5} \times 10^{-3} \times 10^{7} = 0.58 \times 10^{4} = 5800k^{\circ} = 6000k^{\circ}$$

تغییر رنگ یک فلز گرم شده، با از دیاد درجهٔ حرارت، یک مثال خوب برای λ_m می‌باشد. زمان‌که آهنگر یک توتهٔ آهن را بالای قوغ آتش گذاشته و آن‌را پکه می‌کند، آهن، آهسته آهسته گرم شده، با بلند رفتن درجهٔ حرارت، از رنگ سیاه به رنگ سرخ (همرنگ قوغ) می‌تابد و با اضافه شدن درجهٔ حرارت، آهن مذکور به ترتیب رنگ‌های نارنجی، زرد و بالآخره سفید را به خود می‌گیرد که ترتیب این رنگ‌ها نمایانگر کم شدن طول امواج می‌باشد. قابل ذکر است که آهن به طور مطلق یک جسم سیاه نیست، اما به رویت قانون کرشهوف، طرز توزیع انرژی آن در طیف تشعشع، همانند جسم سیاه مطلق می‌باشد. طیف‌های تشعشع حرارتی جسم جامد گرم به‌طور مداوم بوده و شدیداً تابع درجهٔ حرارت می‌باشد؛ به هر اندازه که درجهٔ حرارت بلندتر باشد، تشعشع حرارتی بیشتر انتشار می‌یابد. در ابتدا جسم در آن کم‌رنگ و بعدا سفید روشن دیده می‌شود.

4-5-2: قانون ستیفان– بولتزمن (*Stefan Boltzmann*)

پیش از این در مورد تشعشـــع یک جسم صحبت نمودیم و فهمیدیم که هر جسم حرارت را هم تشعشـــع می‌کند و هم جذب می‌نماید. حالا می‌خواهیم در مورد کمیت و مقدار تشعشع جســـم صحبت نماییم. در نخســـت باید بدانیم که کمیت و مقدار تشعشع تابع کدام فکتورها می‌باشد؟

برای اولین بار پیمایش انتقال حرارت به وســـیلهٔ تشعشـــع توسط تندال (Tyndall) تجربتاً صورت گرفت و نامبرده نتیجه گرفت که؛ مقدار حرارت تشعشـــعی یک جسم سیاه متناسب به درجهٔ چهارم حرارت مطلقهٔ آن است. سرانجام با ادامهٔ این تجارب، بولتزمن نیز آن را تأیید کرد که به نام قانون «ستیفان - بولتزمن» یاد می‌شود و رابطهٔ مذکور چنین بیان می‌گردد:

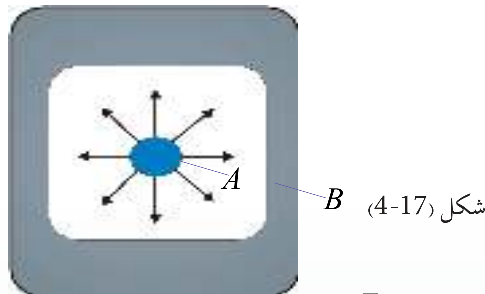
$$R_b = \delta T^4 \quad .....(1)$$

در رابطهٔ (1)، R_b عبارت از قدرت انتشار انرژی تشعشعی از فی واحد سطح است، T درجهٔ حرارت مطلقه ($273^\circ c + t^\circ c$) و δ عبارت از ثابت ستیفان- بولتزمن می‌باشد که قیمت آن مساوی است به:

$$\delta = 5.67\times10^{-5}\, erg/cm^2.k^4.s = 5.67\times10^{-8}\, J/m^2.k^4.s$$

مقدار انرژی تشعشـــع شـــدهٔ یک ســـطح به طور مستقیم متناســـب با مساحت آن (A) می باشد. ازدیاد تشعشع در مقابل درجهٔ حرارت جسم متشعشع بسیار حساس و با درجهٔ مطلقهٔ حرارت به طاقت 4 آن متناســـب اســـت. در تشعشع اجسام، فکتور دیگری نیز نقش دارد که عبارت از طبیعت و چگونه‌گی ســـطح جسم است که به نام emissivity یا قابلیت نشر نیز یاد می‌گردد و به E نشانداده می شود.

اکنون دو جســـم را که یکی از آن‌ها ســـیاه فرض می‌شـــود، مطابق شکل (17-4) داخل یک محوطه قرار می‌دهیم. اگر درجهٔ حرارت جدارهای محوطه، T ثابت باشـــد، پس از مدتی هر دو جسم به همان درجهٔ حرارت می‌رسند؛ زیرا تبادل انرژی تشعشعی بین اجسام و محوطه صورت می‌گیرد، یعنی بعد از مدتی موازنهٔ حرارتی ایجاد شـــده و هر دو جســـم دارای عین حرارت T گردیده و حرارت آن‌ها زیاد نمی‌شود. در این حال، مقدار انرژی تشعشعی که بالای هر دو جســـم در واحد وقت به واحد ســـطح آن‌ها می‌رسد، مساوی است. اگر این انرژی E_1 فرض شود، چون جسم سیاه یعنی A تمام انرژی را جذب می‌کند، باید به همان اندازه انرژی را در هر ثانیه از واحد سطح منتشر سازد، در غیر آن درجهٔ حرارت آن بالا می‌رود.



شکل (4-17)

چون قابلیت جذب یعنی: $\varepsilon = \frac{E_2}{E_1}$ اســت، اگر قیمت $E_1 = R_b$ در فورمول وضع شــود، E_2 یعنی مقدار انرژی‌یی که جسم دیگر یعنی B در واحد وقت بر واحد سطح می‌گیرد، مساوی بــه $E_2 = R_b.\varepsilon$ خواهــد بود، و در همین زمان به اندازهٔ R از واحد ســطح انرژی منتشــر می‌ســازد که مقدار انرژی جذب شده مســاوی به انرژی منتشره است، یعنی: $R = \varepsilon R_b$ چون $R_b = \delta T^4$ اســت. بنابرآن: $R = \varepsilon\delta T^4$ یعنی مقدار انرژی تشعشــعی منتشره از یک جسم مســاوی اســت به طاقت چهارم درجهٔ حرارت مطلقه و قابلیت جذب جسم. حالا اگر یکی از دو جســم فوق الذکر که مســاحت ســطح آن A و درجهٔ حرارت آن T_2 باشد، به داخل یک محوطه که درجهٔ حرارت آن T_1 است توسط تار باریکی که عایق حرارت باشد، مطابق شکل (4-17) آویزان شــود، جسم مرکزی یک مقدار تشعشع را به طرف جدار محوطه و برعکس، جدار محوطه یک مقدار تشعشــع را به طرف جســم منتشر می‌ســازد. اگر R_2 مقدار انرژی تشعشعی از جسم به طرف جدار محوطه و R_1 مقدار انرژی تشعشعی از جدار به طرف جسم باشد، در این صورت می‌توان نوشت که: $R_2 = \varepsilon\delta AT_2^4$ و مقدار انرژی تشعشعی از جدار به سطح جسم عبارت است از: $R_1 = \varepsilon\delta AT_1^4$ اگر درجهٔ حرارت $T_2 > T_1$ باشد، مقدار انرژی تشعشعی R که از سطح A در واحد وقت منتشر می‌شود، مساوی است به:

$$R = \varepsilon\delta AT_2^4 - \varepsilon\delta AT_1^4$$

$$R = \varepsilon\delta A(T_2^4 - T_1^4)$$

ε را قابلیت جذب و یا ضریب انتشار نیز می‌نامند که مربوط به ماهیت سطح مرکزی است.

ε یــک عــدد مجرد بوده، قیمت آن بین صفر و یک تحول می‌کند. هرگاه یک جســم کاملاً سیاه مد نظر گرفته شود، در این صورت قیمت $\varepsilon = 1$ می‌باشد. اگر جسم مانند سطح آیینه صیقل و درخشــان باشد، $\varepsilon = 0$ اســت. قانون ستیفان- بولتزمن نشــان می‌دهد. آن مقدار حرارتی که یک جســم در درجهٔ حرارت پایین‌تر تشعشــع می‌نماید و یا از دســت می‌دهد، بسیار کم است؛ ولی اگر درجهٔ حرارت بلند شود، مقدار حرارتی که یک جسم آن‌را از طریق تشعشــع از دست می‌دهد، با سرعت زیاد بیشتر می‌گردد. به گونهٔ مثال: چون درجهٔ حرارت ســطح خارجی آفتاب $6000k^{\circ}$ است، از این سبب اندازهٔ حرارتی که از واحد سطح خارجی آفتاب تشعشع می‌نماید، بسیار زیاد است.

خلاصه‌ی فصل چهارم

- حرارت یک نوع انرژی است که از جسم دارای حرارت بلند به جسم حاوی درجهٔ پایین‌تر حرارت جاری می‌شود. واحد حرارت در سیستم SI ژول است.

- حرارت یک جسم، در حقیقت انرژی حرکی متوسط مالیکول‌های آن جسم است.

- هدایت یک نوع انتقال حرارت است که توسط اهتزاز و تصادم مالیکول‌ها و اتوم‌ها صورت می‌گیرد، بدون این که مالیکول‌ها یا اتوم‌ها در جسم از یک جا به جای دیگر حرکت کنند.

- کانوکشن یک طریقهٔ انتقال حرارت است که توسط حرکت واقعی مالیکول‌ها انجام می‌شود، یعنی مالیکول‌ها در جسم از یک جا به جای دیگر به طور مقایسه‌یی فاصلهٔ زیاد را طی می‌کنند.

- تشعشع یک نوع انتقال حرارت است که به محیط مادی احتیاج ندارد. انرژی حرارتی از یک جا به جای دیگر به واسطهٔ امواج الکترومقناطیسی انفرارید(infrared) انتقال می‌یابد.

سؤال‌های فصل چهارم

1- حرارت و درجهٔ حرارت را تعریف نمایید؟

2- طریقه‌های انتقال حرارت از یک جا به جای دیگر را بیان کنید؟

3- ضریب هدایت حرارتی را تعریف کنید، واحد آن چیست؟

4- گرادینت درجهٔ حرارت و هدایت حرارتی را تعریف نمایید؟

5- معادلهٔ هدایت حرارتی را بنویسید؟

6- هدایت حرارتی و تشعشع حرارتی را با مثال‌های آن بیان و تشریح کنید؟

7- دربارهٔ استعمال و کاربرد تشعشع حرارتی معلومات خود را بنویسید؟

سؤال‌های چهارجوابه:

1- درجهٔ حرارت یک جسم در حالت ثابت:

الف: توأم با گذشت وقت تزاید می‌کند. ب: با سپری شدن وقت تناقص می‌نماید.

ج: با گذشت وقت تغییر ننموده و در نقطه‌های مختلف جسم مختلف است.

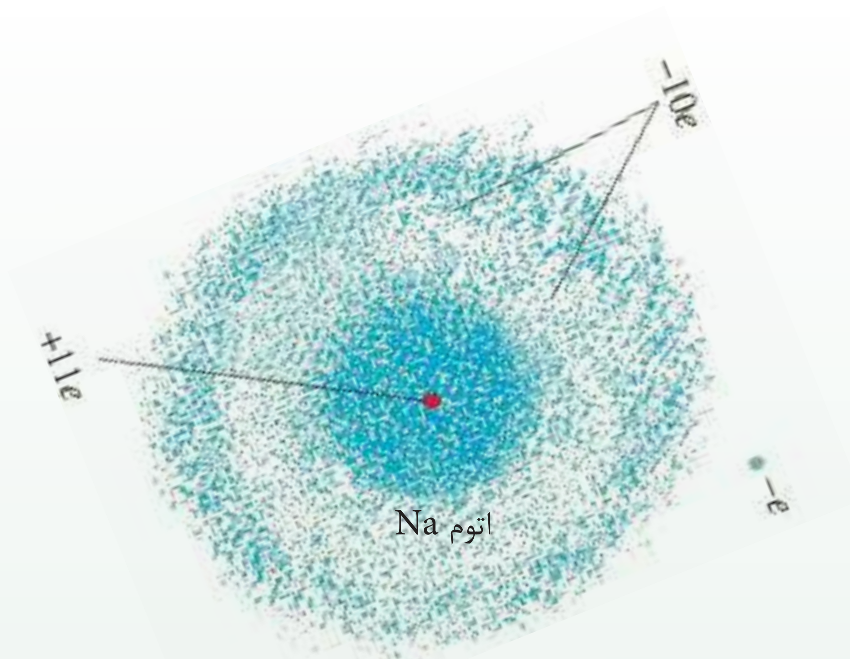
د: با گذشت وقت تغییر نمی‌کند و در همهٔ نقاط جسم یک‌سان است.

2- مقدار جریان حرارتی‌که از یک میلهٔ فلزی که مساحت مقطع آن $1m^2$ است می‌گذرد، در صورتی‌که گرادینت درجهٔ حرارت آن $1c^\circ/m$ باشد، در حالت ثابت به کدام نام یاد می‌شود؟

الف: مقاومت حرارتی ب: مقاومت اومیک ج: هدایت حرارتی د: دیفوزن.

فصل پنجم

فزیک اتومی



ما از سال‌های قبل تا به حال، با قوانین مختلف فزیک آشنا شده‌ایم و فهمیدیم که چطور از این قوانین در حل مسایل فزیک و بیان پدیده‌های طبیعی استفاده کنیم. به طور مثال، با استفاده از قوانین نیوتن می‌توانیم حرکت اجسام را با اندازه‌های معمولی در روی زمین، و حرکت اجسام سماوی را به کمک قانون جاذبه (قوهٔ جاذبه بین کتله‌های مختلف) مشخص نماییم.

به همین ترتیب، آموختیم که چگونه می‌توانیم اثر قوهٔ برقی بین چارج‌های برقی را با استفاده از قانون کولمب، و یا اثر مقناطیسی جریان‌های برقی را با در نظر داشت قانون فارادی توضیح و تشریح نماییم. مسلماً شما هم می‌توانید با استفاده از آموخته‌های قبلی‌تان مثال‌های دیگری بیاورید.

تا اواخر قرن نوزدهم دانشمندان فزیک با استفاده از قوانین طرح شدهٔ فزیک توانستند برای بسیاری از پدیده‌های طبیعی دلایل قانع کننده‌یی ارایه نمایند. مجموع این قوانین را فزیک کلاسیک می‌نامند، که تا امروز هم در حل بسیاری از مسایل فزیک و تشریح و توضیح پدیده‌های طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

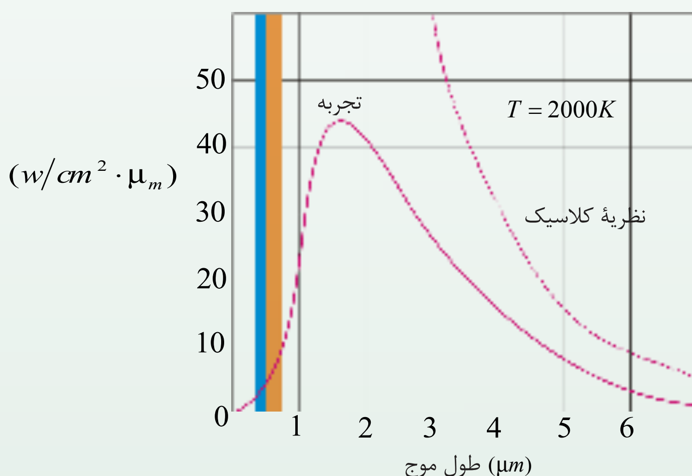
با کشف الکترون که یکی از ذرات تشکیل دهندهٔ اتم است و اختراع وسایل دقیق‌تر، دانشمندان متوجه شـدند که دیگر دانش فزیک کلاسـیک برای انجام آزمایش‌های اساسی و دقیق‌تر و مطالعهٔ حرکت ذرات تشـکیل دهندهٔ اتم کافی نبوده و به مطالعهٔ مباحث علم فزیک جدید ضرورت اسـت. اسـاس نظریات فزیک مدرن (جدید) را نظریات نسـبیت و کوانتمی‌تشکیل می‌دهد. نظریهٔ نسـبیت به مطالعهٔ پدیده‌های با سـرعت‌های بسیار زیاد (نزدیک به سرعت نور) می‌پردازد و نظریهٔ کوانتمی، پدیده‌های بسـیار کوچک مانند مالیکول‌ها؛ اتم‌ها و ذرات کوچک‌تری که اجزای تشـکیل دهندهٔ اتم هسـتند و به نام ذرات تحت اتم یاد می‌شوند را مورد مطالعه و بررسـی قرار می‌دهد. نظریهٔ نسـبیت برای نخستین بار توسط البرت انشتین (Albert Einstein) مطرح شـد و نظریهٔ کوانتمی‌نتیجهٔ تحقیقات دانشـمندان فزیک از جملـه ماکس پلانـک(Max Planck)، ماکـس بورن(Max Born) و غیره بوده اسـت.
درین فصل ضمن معرفی و بررسـی این‌که چرا فزیک کلاسـیک در جواب دادن به بعضی سـؤالات عاجز مانده اسـت، به معرفی فزیک اتمی، تابش جسـم سـیاه، طیف اتمی، طیف جذبی، مودل اتمی‌تامسـون، مودل اتمی‌رادرفورد، اثر فوتوالکتریک، مودل اتومی‌بور، اشـعهٔ X، تئـوری کوانتوم، طبیعـت دوگانهٔ تابش، طول موج دی بروگلـی، عدم قطعیت‌هایزنبرگ پرداخته خواهد شـد و در ابتدا به مطالعهٔ بعضی از پدیده‌هایی که با فزیک کلاسـیک قابل بیان نیستند، خواهیم پرداخت.

5-1-1: **نارسایی‌های فزیک کلاسیک**

طوری‌که پیش از این گفته شـد، فزیک کلاسـیک از اجسـامی به اندازه‌هـای معمولی که با سـرعت‌های معمولی (کم) حرکـت می‌کنند، بحث می‌کند. در حالی‌که فزیک نسـبیت، میخانیـک نیوتن و الکترو مقناطیس (از جملـه نظریهٔ موجی - ذره‌یی نور) را در برمی‌گیرد و دربارهٔ اجسـامی‌که سـرعت آن‌ها نزدیک به سرعت نور است، بحث می‌کند. بنابرین فزیک کلاسـیک جای خود را باید به فزیک نسـبیت بدهد. برای مطالعه‌ی اجسامی‌که اندازهٔ آن‌ها تقریباً 10^{-10} متر (اندازه یک اتم)اسـت، باید فزیک کوانتمی‌جانشین فزیک کلاسیک شود. برای بیان این موضوع، نظریات بعضی از دانشـمندان را کـه در مورد فزیک کوانتمی‌مطرح شده است، یادآور می‌شویم.
نظریه کوانتمی در سـال 1900 میلادی با نظریهٔ ماکس پلانـک آغاز گردید، که این نظریه مبانی و اساس میخانیک کوانتمی‌را تشکیل مید هد.
پلانک برای نخستین بار توانست با انجام آزمایش‌هایی در مورد تشعشع امواج الکترومقناطیس از سـطح اجسـام، نظریهٔ خود را ارایه نماید. بسیار مهم و قابل تذکر است که نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها با قوانین نیوتن سازگارنبود.

بنا بر نظریهٔ فزیک کلاســیک، هرگاه یک ذرهٔ چارجدار حرکت شــتابی داشته باشد، به طور مثال حول حالت تعادل خود نوســان کند، یک موج الکترومقناطیس از آن پخش می‌شــود. با این موضوع در مبحث الکترومقناطیس آشــنا شــدیم و دیدیم که چگونه حرکت شتاب‌دار ذره‌های چارجدار در آنتن، سبب پخش امواج الکترومقناطیسی در فضا می‌شود. پخش امواج الکترومقناطیس از سطح اجسام را تابش حرارتی می‌نامند.

تابش حرارتی که از ســطح اجســام پخش می‌شــود، از نوســان‌های ذرات چارج‌داریکه در دورن جســم و در نزدیک ســطح آن واقع اند، ســر چشــمه می‌گیرد. تا اوایل قرن بیســتم میلادی، فزیک‌دانان نتوانســته بودند با اســتفاده از قوانین و مفاهیم فزیک کلاسیک، امواج الکترومقناطیســی پخش شده از سطح یک جســم را با ارایهٔ منحنی‌های تجربی بیان کنند. و یا به عبارهٔ دیگر، از محاســبهٔ آن‌ها منحنی‌هایی به‌دســت آمده بود که با نتیجه‌هایی مانند شــکل ذیل سازگاری نداشت. در شــکل (5-1) منحنی حاصل شدهٔ نظری به اساس فزیک کلاســیک با خط نقطه‌چین و منحنی تجربی برای درجهٔ حرارت 2000 درجهٔ‌کالوین نشان داده شده است.



شکل (5-1)

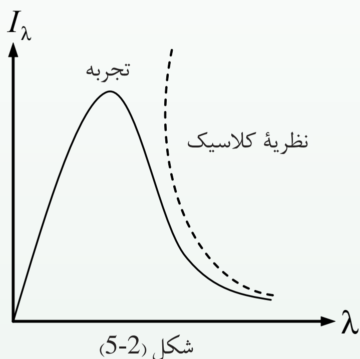


فعالیت

درگروپ‌های‌تان دربارهٔ دو منحنی‌یی که در شــکل(5-1) می‌بینید، بحث کنید و ناســازگاری بین این دو منحنی را مشخص سازید.

یکی از نا ســازگاری‌ها بین نتایج محاســبات بر اســاس فزیک نظری کلاسیک و نتیجه‌های به دســت آمدهٔ تجربی آنست که: محاسبات کلاســیکی پیش‌بینی می‌کنند که مقدار انرژی تابشی پخش شده با طول موج بسیار کوتاه باید لایتناهی باشد. اما طوری‌که در گراف تجربی می‌بینید مقدار این انرژی بسیار کوچک است.

در اواخــر قــرن نوزدهم میلادی دانشــمندان فزیک در مورد طیف تابش حرارتی از ســطح اجســام، تلاش‌های فراوانی به عمل آوردند، که این تلاش‌ها اکثراً ناکام شد. در شکل(2-5) منحنی تابنده‌گی حاصل شــده از محاسبه‌های نظری بر اساس فزیک کلاسیک با خط نقطه چین و یک منحنی تجربی برای درجهٔ حرارت معین T نشان داده شده است. طوری‌که در شکل دیده می‌شود.



شکل (2-5)

در طــول موج‌هــای بلند، نظریهٔ کلاســیک با تجربه ســازگاری دارد. اما در طول موج‌هــای کوتاه، نظریهٔ کلاســیک به طور کامل با شکست رو به رو می‌شود و هیچ انطباقی بین نظریهٔ کلاســیک و نتایج تجربی عملاً به نظر نمی‌خورد.

مطابق پیش‌بینی نظریهٔ کلاسیک، درخشنده‌گی جسم در طول موج‌های کوتاه باید به سمت بی‌نهایت تقرب کند، در حالی که نتایج تجربی به طور دقیق نقطهٔ مقابل آن یعنی تقرب به طرف صفر را ارایه می‌دارد.

بالاخره در آغاز قرن بیســتم پلانک با ارایهٔ فرضیه‌یی، این مسأله را با موفقیت حل نمود و با مطرح کردن این فرضیهٔ به صورت کامل جدید به کمک بعضی از مفاهیم فزیک کلاســیک، توانســت رابطه‌یی را که پیش از این برای تابش جســم سیاه به دســت آورده بود، به اثبات برساندکه در ادامهٔ بحث با آن آشنا خواهیم شد.

5-1-2: تابش جسم سیاه

طوری‌که می‌دانید، همهٔ اجسام در درجه‌های بلند حرارت از خود نور مرئی پخش می‌کنند؛ طور مثال نوری‌که از آتش افروخته شده و یا از کدام جسم دیگر پخش می‌شود، نشان می‌دهد که اجسام در هر درجهٔ حرارت یعنی درجات حرارت بالا و پایین از خود نور مرئی به شکل امواج الکترومقناطیسی پخش می‌کنند که آن‌را به نام تابش حرارتی یاد می‌کنند.

قسمی‌که گفته شد، از سطح هر جسمی‌همیشه انرژی تابشی پخش می‌شود و اجسام دیگر که در اطراف آن هستند، این تابش را دریافت می‌کنند. هر جسم یک قسمت از این تابش را جذب و بقیه را از خود عبور می‌دهد. تابش وسیله‌یی است که حرارت می‌تواند به آن وسیله انتقال نماید و به عاملی به نام ضریب جذب بسته‌گی دارد.

نسبت انرژی تابشی جذب شده توسط هر جسم بر انرژی تابشی وارد شده بر آن جسم را ضریب جذب همان جسم می‌نامند و آن را به $a\lambda$ نشان می‌دهند.

ضریب جذب هر جسم به ویژه‌گی‌ها سطح جسم بسته‌گی دارد و مقدار آن برای طول موج‌های متفاوت یک‌سان نیست. به عبارهٔ دیگر، یک جسم برای هر طول موج ضریب جذب خاصی دارد.

$$a\lambda = \frac{\text{انرژی تابشی جذب شده با طول موج } \lambda_0}{\text{انرژی تابشی وارده شدهٔ تشعشعی با طول موج } \lambda_i}$$

نظر به رابطهٔ بالا، چون مقدار عددی صورت همیشه از عدد مخرج کمتر است، بنابر آن $a\lambda$ نمی‌تواند بزرگ‌تر از یک باشد. اما هر قدر جسم انرژی تابشی بیشتری را جذب کند، ضریب آن بالا تر و به یک نزدیک‌تر می‌شود.

بهترین جذب کننده، جسمی‌است که تمام تابش وارده را جذب کند که در آن صورت $a\lambda = 1$ است.

جسمی‌که بتواند همهٔ طول موج‌های وارده را جذب کند، جسم سیاه نام دارد. جسم‌های به رنگ سیاه همهٔ نور مرئی‌یی را که به آن‌ها می‌تابد، می‌توانند جذب کنند. ولی توجه داشته باشید، هر جسمی‌که رنگ سیاه داشته باشد، جسم سیاه نیست؛ زیرا ممکن است ضریب جذب آن برای بعضی از طول موج‌های غیر مرئی کمتر از یک باشد.

5-1-3: **شدت تابشی**

شدت تابشی یک جسم، مساوی به مقدار مجموعی انرژی امواج الکترومقناطیسی‌یی است که در واحد زمان از سطح یک جسم پخش می‌شود. نظر به این تعریف، هر چه ضریب جذب یک جسم بالا باشد، شدت تابشی یا توان تابشی نیز بزرگ‌تر است. به عبارهٔ دیگر، توان تابشی هر جسم با ضریب جذب آن نسبت مستقیم دارد. جسم سیاه دارای بالاترین شدت تابشی در هر درجه‌ی حرارت می‌باشد. می‌توانیم بگوییم که جسم سیاه بهترین پخش‌کنندهٔ امواج الکترومقناطیسی و هم بهترین جذب‌کنندهٔ این امواج است.

طوری‌که گفته شد، مقدار تابش پخش شده از سطح هر جسم نه تنها به درجهٔ حرارت بلکه به عوامل دیگر از جمله خواص سطح آن بسته‌گی دارد. به همین سبب، دانشمندان فزیک برای ساختن یک جسم سیاه به سراغ جسمی‌هستند که هر تابشی را که از محیط اطرافش دریافت می‌کند، از خود عبور نداده و به خود جذب نماید.

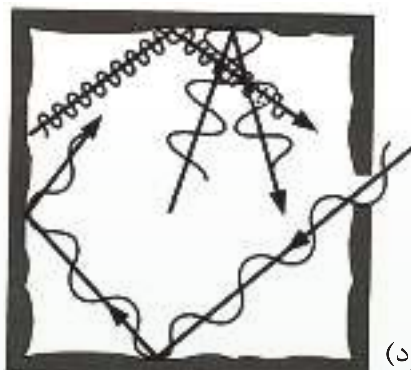
آیا می‌دانید که در عمل به کدام جسم، سیاه گفته می‌توانیم؟

برای پاسخ به این سوال، یک جسم میان‌خالی مطابق شکل(5-3) را در نظر بگیرید که سوراخ کوچکی روی آن ایجاد شده است. این سوراخ خاصیت جسم سیاه را داشته و مانند یک جسم سیاه عمل می‌کند؛ یعنی سوراخ این جسم، جسم سیاه است نه خود جسم.

تشعشعاتی‌که از اطراف جسم به سوراخ می‌تابد، به داخل خالیگاه جسم وارد شده و بعد از انعکاس دوباره در داخل سوراخ انرژی خود را از دست می‌دهد و در نتیجه بدون آن‌که از خالی‌گاه خارج شود، به طور کامل جذب می‌شود. به این ترتیب، ضریب جذب این سوراخ برای تمام طول موج‌های وارده در داخل جسم، مساوی به یک است. از چنین سوراخی می‌توان به عنوان یک جسم سیاه استفاده کرد.

مقدار تابش پخش شده از سطح یک جسم را به نام تابنده‌گی (درخشنده‌گی) مشخص و معین می‌کنند. تابنده‌گی یک جسم در هر طول موج مساوی است با مقدار انرژی امواج الکترومقناطیسی با طول موج‌های بین λ و $\lambda+\Delta\lambda$ که در واحد زمان از واحد سطح یک جسم پخش می‌شود.

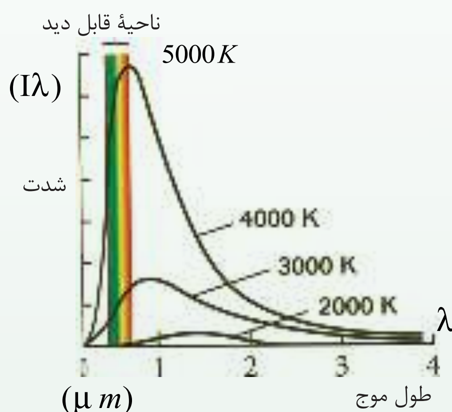
انرژی‌یی کــه به صورت تابش حرارتی در واحد زمان بین طول موج‌های λ تا $\lambda + \Delta\lambda$ از واحد سطح یک جسم تشعشع‌کننده پخش می‌شود، تابنده‌گــی طــول موج نــام دارد و آن‌را به $I\lambda$ نشان می‌دهیم.

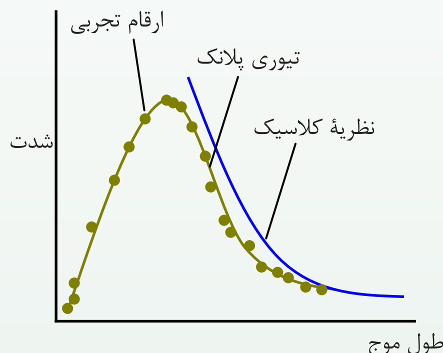


شکل (5-3)

(I شدت تشعشعی است که توسط امواج پخش می‌شود)

در شــکل (5-4)، تابنده‌گی جســم ســیاه ($I\lambda$) در طول موج‌ها با درجه‌های حرارت مختلف اندازه‌گیری شده است.





شکل (5-4)،

چهار درجهٔ حرارت مختلف نشان داده شده است.

طوری‌که در شــکل دیده می‌شــود؛ هرچه درجهٔ حرارت جسم ســیاه بیشتر باشد، به همان اندازه طول موج‌هایی که پخش می‌شــوند، کوتاه‌تر است، و شدت تابش مجموعی با افزایش درجهٔ حرارت، بیشتر می‌شود.



فعالیت

در گروپ‌های مختلف، روی هر یک از سؤالات ذیل بحث نموده و نظریات خویش را به هم‌صنفان‌تان گزارش دهید.

1.چرا در تابستان پوشیدن لباس‌هایی به رنگ روشن و در زمستان لباس‌هایی به رنگ تیره مناسب‌تر است؟

2. در دو گیلاس مشابه هم، در یکی چای سیاه و در دیگری چای سبز با عین درجهٔ حرارت ریخته‌ایم، به نظر شما کدام یک زودتر سرد می‌شود؟چرا؟

5-1-4: طیف اتمی (*Atomic spectrum*)

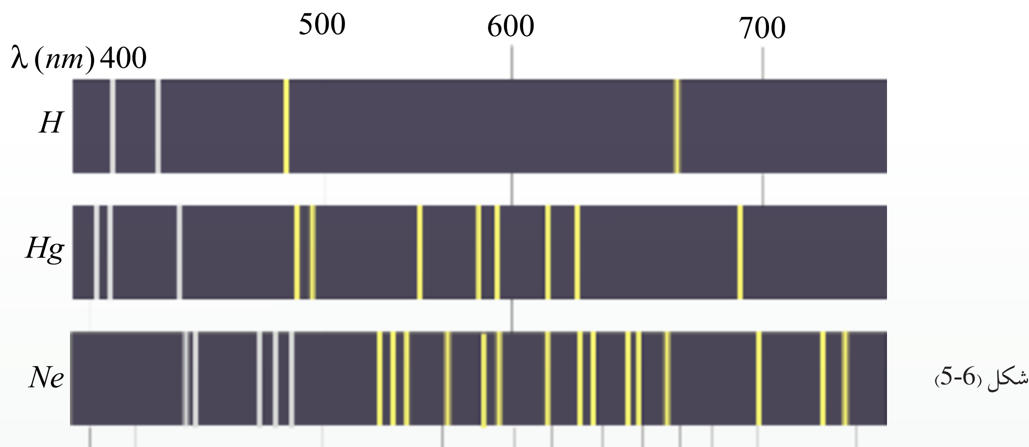
یکی دیگر از پدیده‌هایی که با فزیک کلاسیک قابل بیان نبود، بررسی طیف پخش شده از اتم‌ها بود که با انجام آزمایش توسط تعدادی از دانشمندان فزیک و کیمیا به بررسی گرفته شد.

نیوتن برای اولین بار با عبور نور آفتاب از منشور، طیف نور سفید را تشکیل داد. نیوتن نشان داد که نور سفید متشکل از هفت رنگ مختلف است. طیف نور سفید یک طیف پیوسته است که در شکل (5-5) نشان داده شده است. در درس قبلی با تابش حرارتی آشنا شدیم و دیدیم که این تابش دارای طیف پیوسته است. حال به بررسی نوع دیگری از تابش می‌پردازیم.



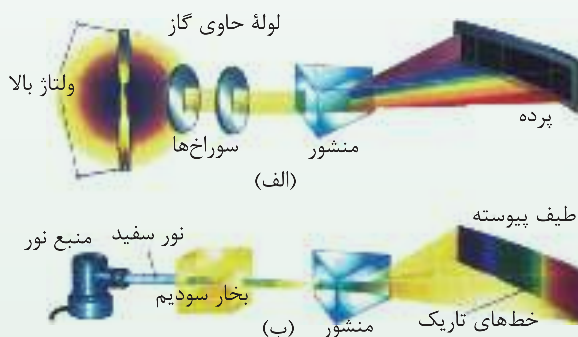
شکل (5-5)

درین نوع تابش از یک گروپ باریک و طویل شیشه‌یی که در داخل آن یک گاز رقیق و بخار با فشار کم از یک عنصر معین مانند جیوه، سودیم و یا نیون است، استفاده می‌شود. دو الکترود به نام‌های انود و کتود در دو طرف این چراغ قرار دارد که به ترتیب به قطب‌های مثبت و منفی یک بطری با ولتاژ بالا وصل است. با قرار دادن ولتاژ بلند بین الکترودهای کتود و انود گروپ، تخلیهٔ الکتریکی (برقی) رخ می‌دهد و اتم‌های گاز به ایون‌های مثبت تبدیل شده و شروع به پخش نور می‌کنند. نوری که ازگروپ پخش می‌شود به رنگ آبی است. اگر این نور را از منشور بگذرانیم و طیف آن‌را تشکیل دهیم، می‌بینیم که این طیف پیوسته نیست، بلکه از چند خط رنگهٔ جدا ازهم با طول موج‌های معین تشکیل شده است.



شکل (5-6)

به همین ترتیب اگر داخل گروپ به جای بخار جیوه، بخار عنصر دیگری باشد، بازهم طیف حاصل از آن به صورت خطهای رنگهٔ جدا از هم دیده می‌شود. اما این خطها هم از نظر تعداد و هم از نظر طول موج، با خطهای طیف حاصل شده از گروپ جیوه تفاوت دارد. طیف نور پخش شده از بخار هر عنصر را طیف اتمی‌آن عنصر می‌نامند. پس گفته می‌توانیم که طیف اتمی‌عناصر مختلف با هم متفاوت اند. طیف اتمی‌حاصل از نور پخش شده توسط بخار هر عنصر را طیف نشری اتم همان عنصر هم می‌نامند.



شکل (5-7)

طیف‌های گروپ بخار جیوه، مقدار زیادی نور مادون قرمز پخش می‌کنند که این نور به صحت انسان مضر است، به همین جهت انسان نباید به طور مستقیم در معرض نور پخش شده از گروپ جیوه قرار بگیرد.

در داخل گروپ‌های مهتابی (فلورسینت) بخار جیوه قرار دارد. اما دیوار این گروپ‌ها را با پوشش نازکی از یک مادهٔ سفیدرنگ می‌پوشانند. این مادهٔ سفیدرنگ باعث می‌شود که اگر نور مادون قرمز بر آن بتابد، آن را جذب و نور سفید پخش می‌کند.

5-1-5: طیف جذبی (*Absorption spectrum*)

در سال 1814 میلادی فرانهوفر(Fraunhofer) با انجام دادن تجارب دقیق، خطهای تاریکی را در طیف آفتاب کشف نمود. وی نشان داد که اگر به طیف آفتاب به دقت دیده شود، خطهای تاریکی به نظر می‌رسد، به این معنی که در این طیف بعضی از طول موجها وجود ندارد، به جای آن‌ها خطهای تاریک سیاه دیده می‌شود. اکنون می‌دانیم که گازهای عناصر موجود در جو آفتاب بعضی از طول موجهای پخش شده از آفتاب را جذب می‌کنند که نبود آن‌ها به شکل خطهای تاریک در طیف آفتاب به نظر می‌رسد.

به طیف نور سفید که بعضی از خطها یا طول موجهای آن جذب شده باشد، طیف جذبی گفته می‌شود.

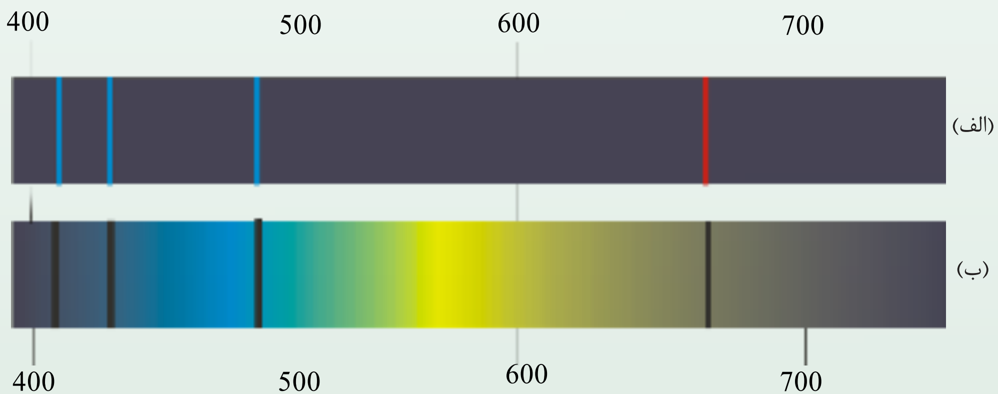
تجارب نشان می‌دهد که هرگاه نور سفید از داخل یک عنصر معین عبور کند و طیف آن تشکیل گردد، در طیف آن خطهای تاریکی ظاهر می‌شود. یعنی بعضی از طول موجهای نور سفید جذب شده، و طیف حاصل از آن به شکل طیف خطی به نظر می‌رسد.

مطالعهٔ طیفهای نشری و جذبی عناصر مختلف نشان می‌دهدکه:

1 - در طیفهای نشری و جذبی هر عنصر طول موجهایی معین وجود دارد که از مشخصات آن عنصر می‌باشد. یعنی طیف نشری و جذبی دو عنصر با هم مشابه نمی‌باشند.

2 - اتم هر عنصر طول موجهایی را از نور سفید جذب می‌کند، که اگر درجهٔ حرارت آن عنصر بالا برود و یا به طور دیگری برانگیخته شود، آن‌ها را دوباره می‌تاباند (منعکس می‌سازد). در شکل (8-5) طیف جذبی و نشری اتم هایدروجن نشان داده شده است.

طیفهای اتمی‌هر عنصر خطها یا طول موج خاص خود را دارد و طیفهای نشری و جذبی هر عنصر مانند اثر انگشت افراد برای شناسایی هر عنصر به کار می‌رود.



شکل (8-5)



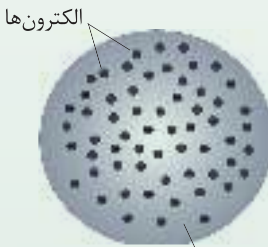
فعالیت

شکل‌های الف و ب در صفحهٔ قبل، طیف نشری و جذبی بخار اتم‌های هایدروجن را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها، طیف‌های جذبی و نشری را مشخص نمایید.

تهیه و بررسی طیف‌های نشری و جذبی را طیف نمایی می گویند. طیف نمایی وسیلهٔ خوبی برای شناسایی عناصر است که در اواخر قرن نوزدهم سبب کشف چند عنصر ناشناخته شد. ولی با وجود این کاربرد موفق، هنوز هم در مورد این‌که چرا هر عنصر، طیف مخصوص خود را دارد، در فزیک کلاسیک پاسخی وجود ندارد. بنابر نظریهٔ کلاسیک، یک اتم در صورتی نور پخش می‌کند که به شکلی مانند برخورد با سایر اتم‌ها و یا توسط میدان‌های برقی، به الکترون‌های آن اتم انرژی داده شود. این الکترون‌ها به اثر به دست آوردن انرژی نوسان می‌کنند و موج‌های الکترو مقناطیسی پخش می‌کنند. و اگر نور به یک اتم بتابد، نوسان میدان برقی نور وارده باعث می‌شودکه الکترون‌ها شروع به نوسان کرده و نور وارده را جذب نمایند. بنابرین با توجه به نظریات کلاسیکی، هر اتم می‌تواند نوری را با هر طول موجی تابش دهد و یا جذب کند. در حالی‌که تجربه نشان می‌دهد که در طیف تابشی و جذبی اتم‌ها تنها در طول موج‌ها ی معینی می‌توانند پخش یا جذب شوند یا به عبارهٔ دیگر، الکترون‌های هر اتم تنها با فریکونسی‌های معین می‌توانند نوسان کنند.

5-2-1: مودل اتمی‌تامسون

تامسون دانشمند انگلیسی، نخستین مودل ساختار اتمی‌را پیشنهاد کرد. درین مودل، اتم به صورت توزیع یک‌نواختی از کتله و چارج مثبت به شکل کروی در نظر گرفته شده است. در این مودل الکترون‌ها با چارج‌های منفی، مانند (کشمش‌ها در داخل یک کیک کشمشی)، در سرتاسر مودل توزیع می‌شوند. از این سبب این مودل را مودل کیک کشمشی (Plum pudding model) هم می گویند.



شکل (5-9)، چارج‌های برقی مثبت در داخل کره به شکل یک نواخت توزیع شده است.

تامسون بر اساس مودل کیک کشمشی، بعضی از ویژه‌گی‌های اتم‌ها مثل اندازهٔ کتله، تعداد الکترون‌ها و خنثا بودن آن‌ها را بیان نمود. ولی بعداً رادرفورد با انجام آزمایشی به این نتیجه رسید که چارج‌های مثبت اتم باید در مرکز اتم متمرکز باشد و به این اساس، مودل دیگری را برای ساختار اتم پیشنهاد نمود.

5-2-2: مودل اتمی‌را در فورد

رادرفورد شـــاگرد تامسون در 1911 با انجام تجارب به این نتیجه رسید که تمام چارج‌های مثبت یک اتم با حجم بســیار کوچک در هســـته، در مرکز اتم متمرکز می‌باشد و الکترون‌ها با چارج منفی، اطراف این هستهٔ مرکزی را در فاصله‌های زیاد احاطه کرده اند، یعنی فضای بین هســـته و الکترون‌ها خالی است. مودل رادرفورد در بسیاری موارد با موفقیت همراه بود ولی به سؤالاتی مانند: اتم‌ها چگونه حرکت می‌کنند؟ چه چیزی مانع می‌شود که الکترون‌ها با چارج منفی بر اثر قوهٔ برقی به طرف چارج‌های مثبت هســـته ســـقوط نکنند؟ هسته از چه چیزی ترکیب شده و چگونه می‌توان چارج آن را اندازه گرفت؟ پاسخ‌گو نبود. به این ترتیب، به فرضیه‌های دیگری ضرورت بود تا مودل اتمی رادرفورد را کامل‌تر بســـازد و به ســـوالات مطرح شده در مورد ساختمان اتم پاسخ‌گو باشد، که بعدها فزیک‌دان دنمارکی، بور (Niles Bohr)، (1885–1962) در ســـال 1913 مودل جدید اتم هایدروجن را به‌حیث مودلی که می‌تواند طیف اتمی‌را تشریح نماید، پیشنهاد کرد.

5-2-3: نظریهٔ ماکس پلانک (1858-1947) Max planck

بر اســـاس فزیک کلاســـیک، هرگاه یک ذرهٔ چارج دار، حرکت شـــتاب دار داشته باشد (مثلاً حول وضع تعادل خود نوسان کند)، یک موج الکترومقناطیس از آن منتشر می‌شود.

هم‌چنان مطابق فزیک کلاسیک، انرژی موج الکترومقناطیسی یک کمیت پیوسته است. بنابر نظریهٔ ماکس پلانک، مقدار انرژی‌یی که جســـم به صورت موج‌های الکترومقناطیسی منتشر می‌کند، همواره مضرب تامی‌از یک مقدار ثابتی اســـت که این مقدار ثابت با به فریکونســـی موج الکترومقناطیسی بسته‌گی دارد. مطابق این نظریه، انرژی یک موج الکترومقناطیسی با فریکونسی برابر است با: $E = nh\nu$ ....(I)

در این رابطه n عدد تام مثبت اســـت و ضریب h مقدار ثابتی اســـت که به نام ثابت پلانک یـــاد می‌شـــود. این ثابت توســـط ماکس پلانـــک از نتیجهٔ تطبیق محاســـبه بـــا منحنی‌های تجربی مربوط به تابش جســـم ســـیاه به دســـت آمد که مقدار پذیرفته شدهٔ این عدد برابر به $h = 6.63.10^{-34}\ Js$ است.

$h\nu$ کوانتم انرژی نور منتشـــر شده با فریکونسی ν است که به آن فوتون هم می‌گویند و n تعداد کوانتم‌ها را مشخص می‌سازد که به نام عدد کوانتمی‌یاد می‌شود.

در رابطهٔ (1) اگر ثابت پلانک را برحسب (ژول ثانیه) قرار دهیم، انرژی برحسب ژول به دست می‌آید. ولی در بحث اجزای ساختمان اتوم از ژول منحیث واحد استفاده نمی‌شود، زیرا ژول یک واحد بزرگ است و استفاده از آن مناسب نیست، و به طور معمول از واحد دیگری به نام الکترون ولت (ev) استفاده می‌شود. بنابر تعریف یک ev برابر با تغییر مقدار انرژی یک الکترون تحت ولتاژ یک ولت است. در حالی‌که یک ژول (1J) برابر است با مقدار انرژی چارج برقی برابر به یک کولمب (1C) تحت ولتاژ (1V) یک ولت است.

$1ev = 1\cdot 60\times 10^{-19}$ $\qquad c\times 1v = 1\cdot 60\times 10^{-19} J$

مثال: فریکونسی موج‌های رادیویی از مرتبهٔ $1MH_Z$ تا $100MH_Z$ است. میدان تحول انرژی فوتون‌های وابسته به این موج‌ها را حساب کنید. برای فریکونسی $\nu_1 = 1MH_Z$ داریم:

$$E_1 = h\nu_1 = (6.63\times 10^{-34} Js)(10^6 s^{-1}) = 6.6\times 10^{-28} J = 4.125\times 10^{-9} ev$$

و برای فریکونسی $\nu_2 = 100MH_Z$ داریم که:

$$E_2 = h\nu_2 = (6.63\times 10^{-34} Js)(100\times 10^6 s^{-1}) = 6.6\times 10^{-26} J$$

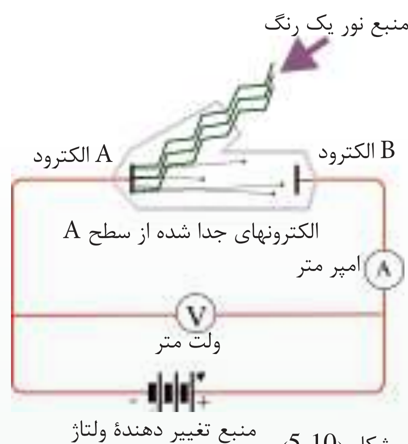
با تعویض قیمت اخیر از جنس ev داریم: $E_2 = 4\times 10^{-7} ev$

بنابراین محدودهٔ میدان تحول انرژی فوتون‌های وابسته به موج‌های رادیویی از $4\times 10^{-9} ev$ تا $4\times 10^{-7} ev$ است.

5-3: اثر فوتو الکتریک

در سال 1887 میلادی‌هانریچ هرتز Heinrich Hertz دانشمند آلمانی مشاهده کرد که وقتی نوری با طول موج بسیار کوتاه؛ مانند: نور بنفش، به کلاهک فلزی الکتروسکوپ که دارای چارج منفی می‌باشد بتابد، باعث تخلیهٔ الکتروسکوپ می‌شود.
تجربهٔ دیگر نشان داد که این تخلیهٔ الکتریکی (برقی) به دلیل جدا شدن الکترون‌ها از سطح کلاهک فلزی الکتروسکوپ (برق‌نما) رخ داده است. این پدیده، یعنی جدا کردن الکترون‌ها از سطح یک فلز توسط تابانیدن نور بر آن را پدیدهٔ فوتوالکتریک، و الکترون‌های منتشر شده از سطح فلز را فوتو الکترون می‌نامند. برای بررسی پدیدهٔ فوتو الکتریک دستگاهی مانند شکل (5-10) را در نظر می‌گیریم.

در ایـن دســتگاه دو الکترود فلـزی A و B در یک محفظهٔ خلاء قرار دارند و از بیرون به یک منبع ولتاژ قابل تنظیم وصل شــده اند. الکترود A در مقابل یک منبع نور مونوکروماتیــک یا یک رنگ که دارای یک طول موج و یا یک فریکونسی است، قرار دارد. شکل (5-10) نشــان می‌دهد که اگر نــوری به طور عادی بــر الکترود A بتابد، هر قدر که ولتاژ بالا هم باشــد، جریانی در مدار دیده نمی‌شــود؛ ولی هرگاه نوری با فریکونسی مناسب به الکترود A بتابد، جریان درمدار برقرار می‌شود.

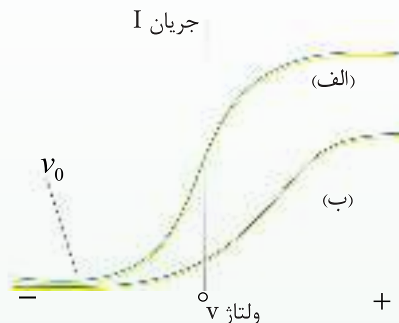


شکل (5-10)

وجــود این جریان را می‌توانیم به این ترتیب تفســیر کنیم که تابیدن نور باعث جدا شــدن فوتوالکترون‌ها از سطح الکترود A و منتشر شدن آن‌ها شده است. اگر این الکترون‌ها انرژی اهتزازی کافی داشــته باشــند، به الکترود B می‌رسند و جریان برقرار می‌شود. با تغییر دادن ولتاژ v می‌توانیم منحنی تغییرات جریان I را برحسب v به دست آوریم.

در شــکل (5-11) منحنی تغییرات جریان برحســب ولتاژ برای دو مقدار مختلف شدت نور وارد شده بر الکترودA نشان داده شده است. فریکونسی نور وارد شده در هردو حالت یکسان است. مقدار مثبت v مربوط به شرایطی است که الکترود B به قسمت اخیر مثبت منبع ولتاژ وصل است. همان طوری‌که منحنی الف نشان می‌دهد، برای مقدارهای مثبت v با زیاد شدن ولتاژ v، اول جریان زیاد می‌شــود و بعد از آن، به یک مقدار ثابت می‌رســد، که دیگر با زیاد شدن ولتاژ v اثری برمقدار آن وارد نمی‌شود، شکل(الف،5-11). این موضوع را می‌توانیم به این صورت توضیح دهیم که ولتاژ v مثبت باعث می‌شود که فوتوالکترون‌ها به سمت الکترود B کشــیده شوند و با زیاد شدن ولتاژ v تعداد بیشتری از فوتو الکترون‌ها به سمت B کشیده می‌شــوند و جریان زیاد می‌شــود؛ ولی زمان‌که ولتاژ v به حدی برســد که الکترود B بتواند تمام فوتوالکترون‌ها را جمع کند، دیگر با زیاد شدن ولتاژ v جریان بالا نمی‌رود. نکتهٔ جالب و قابل توجه دیگری که در این منحنی دیده می‌شــود این اســت که بر مقدارهای منفی v (وقتی‌که الکترود B به قسمت اخیر منفی منبع ولتاژ وصل شده است)، جهت جریان تغییر نمی‌خورد و با کم شدن ولتاژ v، جریان مثبت کاهش می‌یابد، تا این که در مقابل یک ولتاژ $-v_{\circ}$ که ولتاژ متوقف کننده نامیده می‌شــود، جریان صفر می‌شود و برای مقدارهای کمتر از $-v_{\circ}$ جریان هم‌چنان صفر می‌ماند.

بـــرای بیان این وضعیت می‌توانیم بگوییم که برای مقدارهای منفی v، الکترود A که اکنون به قسمت اخیر مثبت وصل است، فوتو الکترون‌ها را به سوی خود می‌کشد، و انرژی اهتزازی آن‌هـــا را کـــم می‌نماید و در نتیجه تعداد کمتری از آن‌ها می‌توانند به B برســـند و در ولتاژ $-v_0$ هیچ فوتو الکترونی به B نمی‌رسد.

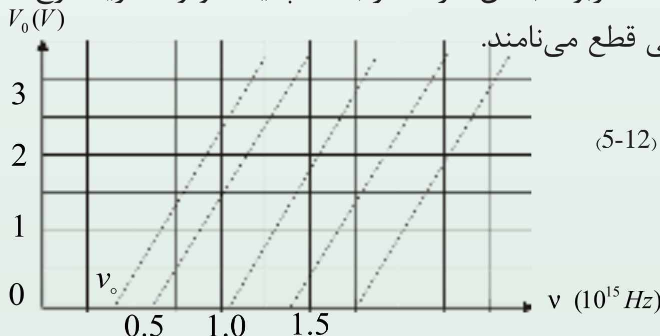


شکل (5-11)

منحنـــی (ب) مربوط بـــه تجربه‌یی اســـت که در آن شـــدت نـــور وارده را نصف کرده‌ایم؛ ولـــی نور همان مقدار فریکونســـی را دارد. همـــان گونه که از منحنی پیداســـت، مقدار v_0 برای هر دو منحنی یکی است، به این معنی که مقدار ولتاژ متوقف کننده به شـــدت شعاع وارده بسته‌گی ندارد.

هرگاه در دستگاه شکل (الف) جنس الکترود فلزی A را تغییر دهیم، باز هم همین نتایج را به دست می‌آوریم؛ ولی در این حالت نیز مقدار ولتاژ متوقف کننده تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، مقدار ولتاژ متوقف کننده به جنس الکترود فلزی A بسته‌گی دارد.

رابـــرت میلیـــکان (1886-1953)م Robert Millikan با تجربه‌هـــای دقیقی که در طول 10 ســـال انجام داد، مقدار ولتاژ متوقف کننده را برای فلزهای متفاوت و برای فریکونســـی‌های متفاوت شـــعاع نور وارده اندازه گرفت. در شـــکل (5-12) منحنی با تغییرات ولتاژ متوقف کننده برحسب فریکونسی شعاع نور وارده، برای چند فلز مختلف نشان داده شده است. این منحنی‌ها نشـــان می‌دهد که هر قدر فریکونســـی شعاع وارده بر الکترود A کمتر باشد، ولتاژ قطع‌کننده نیز کمتر خواهد بود. مقدارهای ولتاژ قطع کننده برای هر فلز روی خط مستقیم قرار دارد. طوری‌که در شـــکل می‌بینید، هر خط محور فریکونسی را در فریکونسی معین که آن‌را به $v_{\circ}$ نشان می‌دهیم قطع می‌کند. تجربه نشان می‌دهد که اگر فریکونسی شعاع وارده بر الکترود فلزی A از $v_{\circ}$ مربوط به آن فلز کمتر باشد، پدیدۀ فوتو الکتریک رخ نمی‌دهد، از این رو $v_{\circ}$ را فریکونسی قطع می‌نامند.



شکل (5-12)

5-4: مودل اتومی‌بور (1885-1962) *Niels Bohr*

در پی پیشـــنهاد رادرفورد مبنی بر این‌که کتله و چارج مثبت اتم در ناحیهٔ بســـیار کوچکی در مرکز اتم متمرکز اســـت، بور فزیکدان دنمارکی در سال 1913 پیشنهاد کرد که اتوم در واقعیت مانند یک مودل منظومهٔ شمسی است. در مدارهای آن الکترون‌ها مانند سیاراتی که گرد آفتاب حرکت می‌کنند، به دور هسته می‌چرخند.

با توجه به نظریهٔ بور، حادثهٔ از هم ریختن اتوم تحت تأثیر جاذبهٔ الکتروستاتیکی کولنی بین هســته و الکترون‌ها به همان دلیل صورت نمی‌گیرد که منظومهٔ شمســـی به اثر جاذبهٔ (قوهٔ جاذبهٔ میخانیکی) بین سیارات و آفتاب وجود دارد، فرو نمی‌ریزد.

بور، برای حل مشـــکل ناپایداری مودل نمونه‌یی اتومی رادرفورد، و با توجه به طیف گسستهٔ تشعشـــعات تابیده شـــده از اتوم‌ها و رابطهٔ تجربی ریدبرکیت بالمر(Balmer- Brackett) برای طیف اتم هایدروجن، و با الهام گرفتن از نظریه‌های کوانتومی‌پلانک و انشتاین، نمونه‌یی را بـــرای اتـــوم هایدروجن که یک الکترون دارد، ارایه کرد. در این نظریه، بور پیشـــنهاد کرد که باید قانون‌های میخانیکی و الکترومقناطیســـی کلاســـیک، در مقیاس‌های اتومی‌همراه با فرضیه‌ها در نظر گرفته شـــوند و این فرضیه‌ها را می‌توان به طور ســـاده در چهار اصل ذیل بیان کرد:

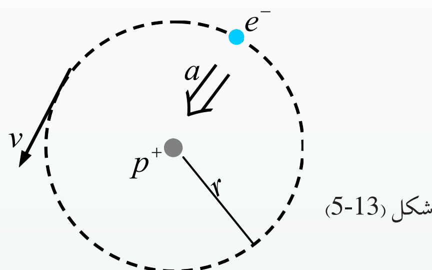
1- الکترون‌ها تنها روی مدارهای دایره‌یی با شعاع‌های معین حرکت می‌کنند.

این مدارها، مدارهای ثابت (stationary orbits) نامیده می‌شـــود. در شکل (5-13) حرکت الکترون با کتلهٔ m و چارج $-e$ روی یک مدار دایروی به شعاع r به دور مرکز (هسته) با چارج $+e$ نشان داده شده است.

قوۀ جذب به مرکز در این حرکت، عبارت از جذب الکتریکی (برقی) بین الکترون و هسته است که برابر است با $\frac{ke^2}{r^2}$

و در آن قیمت k چنین است: $k = 8.99.10^9 Nm^2/c^2$ (ثابت کولمب)

شتاب فرار از مرکز در حرکت الکترون نظر به حرکت دایروی برابر است با $\frac{v^2}{r}$ که در آن v سرعت الکترون روی مسیر دایروی است و در نتیجه با استفاده از قانون نیوتن داریم که:



شکل (5-13)

قوۀ فرار از مرکز= قوۀ جذب به مرکز

یعنی: $\frac{ke^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ ....(1)

می‌توان نشان داد که انرژی پوتانسیلی (جذب به مرکز) الکترون در ساحۀ برقی هسته برابر به $U = \frac{ke^2}{r^2} \times r = \frac{ke^2}{r}$ و انرژی حرکی (فرار از مرکز) آن مساوی به $\frac{1}{2}mv^2$ است.

در نتیجه انرژی مجموعی (انرژی پوتانسیل + انرژی حرکی) الکترون در این مدار برابر است با:

$$E = k_E + U = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{ke^2}{r}$$

اطراف رابطۀ (1) را ضرب $\frac{r}{2}$ می‌کنیم و در نتیجه: $\frac{ke^2}{r^2}(\frac{r}{2}) = \frac{mv^2}{r}(\frac{r}{2})$

و یا: $$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r}$$

بنابرین قیمت مطلقۀ انرژی حرکی الکترون روی یک مدار ثابت با شعاع r برابر است با:

$$E = \frac{ke^2}{2r}$$

2- در اتـــم بعضـــی حالت‌های خـــاص حرکتی به نام حالت‌های ثابت وجـــود دارد که در این حالت‌ها، دیگر طبق معمول (اصول فزیک کلاسیک)، الکترون امواج الکترومقناطیسی پخش نمی‌کند، در این وضعیت می‌گوییم که الکترون در یک حالت ثابت اســـت. با توجه به فزیک کلاســـیک، یک چارج برقی شـــتاب‌دار، مانند الکترونی که به دور هســـته می‌چرخد، باید به طور پیوســـته انرژی الکترومقناطیســـی بتاباند، که با تابیدن این انرژی، انرژی مجموعی این الکترون کم می‌شود و الکترون در یک حرکت مارپیچی به سوی هسته حرکت می‌کند و در اتوم فرو می‌ریزد.

3- شـــعاع مدارهای ثابت، مقدارهای مشخص گسســـته‌یی می‌توانند داشته باشند. اگر شعاع اولیـــن مـــدار را برابر به a_0 بگیریم، شـــعاع‌های مجاز ممکنهٔ مدارها از رابطهٔ ذیل به دســـت می‌آید.

$$r_n = a_\circ n^2 \qquad n = 1,2,3......$$

که در آن n یک عدد صحیح است.

علاوه بر این، بور کوچک‌ترین شـــعاع مدار یعنی $a_\circ$ را در اتم هایدروجن که آن‌را شـــعاع اتم بور نیز می‌نامند، به اندازهٔ $a_\circ = \dfrac{h^2}{4\pi^2 \, mke^2}$، که در آن h ثابت پلانک، k ثابت کولمب، e چارج الکترون و m کتلهٔ الکترون است، به دست آورد که تحلیل آن را در صنوف تحصیلات عالی خواهید خواند.

4- بـــور همچنین فرض کرد که اگرچه الکتـــرون ثابتی که در یک حالت ثابت خاص، دارای انرژی En_1 می‌باشد، نمی‌تابد، اما می‌تواند با رفتن به سطح (سویهٔ) انرژی پایین‌تر En_2 بتابد. در این سویهٔ پایین‌تر، انرژی الکترون کم‌تر از انرژی سویهٔ اولی آن است، یعنی $En_2 < En_1$ که این اختلاف انرژی به صورت کوانتم یا فوتون نوری ظاهر می‌شود که مقدار این اختلاف انرژی بین سویه‌ها برابر است به:

$$h\nu = En_1 - En_2$$

5-5: شعاع ایکس X

در 8 نوامبر سال 1895، روینتگن (Wilhelm Conrad Roentgen) ساینس‌دان جرمنی مانند دیگر فزیک‌دانان جهان، مصروف تجربه با شعاع‌های کتود بود که تازه شناخته شده بودند. او در تجربۀ خود لامپ (گروپ) گلابی‌شکل شیشه‌یی را با قطعه‌های مقوای سیاه پوشانیده و اتاق را تاریک کرده بود، تا اندازۀ (درجۀ) کدری پوشش کاغذ سیاه را امتحان کند. ناگهان در حدود یک یارد ($91.44cm$) دورتر از لامپ، نور ضعیفی را دید که به روی دستگاه کوچکی چشمک می‌زند. روینتگن در حالی که فوق‌العاده هیجان‌زده شده بود، گوگردی را روشن کرد و با شگفتی بسیار کشف کرد که منبع نور مرموز همان تودۀ کوچک باریم پلاتینو سیانید است که بر روی دستگاه افتاده است.

باریم پلاتینو سیانید از جملۀ مواد کیمیاوی معدنی است که خاصیت فلوریسینتی دارد (یعنی هرگاه با نور بنفش روشن شود، نور مرئی از آن منتشر می‌گردد).

ولی در تجربۀ روینتگن هیچ نوع منبع نور، نه نور ماورای بنفش و نه شعاع‌های کتود که می‌توانستند سبب خاصیت فلوریسینتی باشند، وجود نداشت. از این جهت روینتگن نتیجه گرفت که این خاصیت فلوریسینتی مربوط به شعاع جدیدی است نامعلوم و ناشناخته که آن‌را شعاع X نامید. روینتگن نشان داد که شعاع X از محل تولید به خط مستقیم منتشر می‌شود و لوحۀ عکاسی را نیز سیاه می‌کند. او به تفصیل، قدرت نفوذ شعاع X را در مواد مختلف ارایه کرد. او گفت که قدرت نفوذ این شعاع در مواد سبک مانند کاغذ، چوب و گوشت بیشتر از مواد متراکم مانند پلاتین، سرب و استخوان است. او عکس استخوان‌های دست را توسط شعاع x گرفت. روینتگن گفت که شعاع X به وسیلۀ ساحۀ مقناطیسی منحرف نمی‌شود. و هم‌چنان نشان داد که هیچ نوع عمل انعکاس، انکسار و یا اثرهای تداخل و تفرق از شعاع مذکور دیده نمی‌شود.

مورد استفادۀ شعاع X، زیادتر در طبابت بود، چنان‌که شش‌ماه بعد از کشف روینتگن در یکی از شفاخانه‌های (وین) در عملیات‌های جراحی از این شعاع استفاده شد و بعدها ساحۀ مورد استفادۀ این شعاع در طبابت وسیع‌تر شد و به ویژه با تشخیص بعضی از امراض و درمان انواع سرطان توسط این شعاع انقلاب بزرگی در طبابت به وجود آمد. همچنان شعاع X در شاخه‌های دیگر علوم فزیکی و زیست شناسی مورد استفادۀ وسیع قرار گرفت، چنان‌چه دربارۀ تحقیق و تشخیص نواقص در کیفیت مواد ساختمانی، مهندسی، بررسی نقاشی‌ها و مجسمه‌های قدیمی‌به پیمانۀ وسیعی استفاده می‌شد.

5-6-1: **فرضیهٔ (تیوری) کوانتم**

گســترش فزیک اتومی‌و هسته بر مبنای دو پیشــرفت بزرگ در اندیشه‌های فزیکی صورت گرفت. برای پیگیری توســعهٔ بیشتر این تیوری و رسیدن به تیوری میخانیک کوانتمی، لازم است بعضی از نتایج تیوری نسبیت را بدانیم.

در ســال 1905 البرت انشتاین نخســتین بخش از نظریهٔ معروف نسبیتش را عرضه کرد. او به بررســی پیامدهای دو نکتهٔ تجربی بسیار پیچیده پرداخته بود و تجارب گسترده‌یی تا آن زمان انجام داده بود و به دو نتیجهٔ ذیل رسید:

1- با اندازه‌گیری‌های دقیق نشــان داد که مقدار ســرعت نور در خلاء مستقل از چگونه‌گی حالت منبع نور، برابر به $c = 2,998 \times 10^{8}\ m/s$ است.

2- ســرعت‌ها را فقط نســبت به جســم یا علامهٔ معینی می‌توان اندازه‌گیــری کرد. ما فقط می‌توانیم چیزی را نسبت به چیز دیگر، در حال سکون بدانیم، یعنی گفتن این‌که جسمی‌در حال سکون است، هیچ معنایی ندارد.

انشــتاین متوجه شد که این دو نکته می‌توانند متضمن پیامدهای سادهٔ حیران‌کننده باشند. او با فرض درست بودن دو نکته‌یی که در بالا ذکر شد، به نتایج ذیل رسید:

اول: هیچ نوع جسم یا انرژی را نمی‌توان با سرعت بالاتر از سرعت نور در خلاء (c) به حرکت آورد.

دوم: کتلهٔ هر جسمی‌همراه با زیاد شدن سرعت آن زیاد می‌شود.

ســوم: فرض کنید که یک وســیلهٔ اندازه‌گیری زمان (هر نوع ساعت) با سرعت زیاد از مقابل شــخص در حرکت است. اندازه‌گیری این شخص نشان خواهد داد که زمان تک تک ساعت در مقایســه با زمان تک تک آن ساعتی که نســبت به شخص در حال سکون است، کند تر می‌شود.

چهارم: فرض کنید که جسمی‌با سرعت زیاد از مقابل شخصی در حرکت است. اندازه‌گیری این شخص، طول جسم را در امتداد حرکت، کوتاه‌تر نشان خواهد داد.

از میان نتایج بالا سه نتیجهٔ اولی برای ما در این‌جا از اهمیت بیشتری برخوردارند.

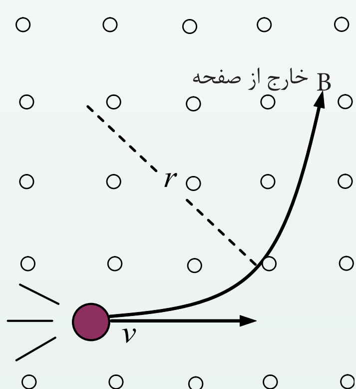
به‌طور مثال از نتیجهٔ اول گفته می‌توانیم: هنگامی‌که الکترون‌ها را با سرعت‌های زیاد شتاب بدهیم، رفتارشان دیگر حالت عادی ندارد، به خصوص وقتی که سرعت v به سرعت نور (c) نزدیک می‌شـود، در این حالت حرکت آن‌ها تابع معادلات معمولی حرکت نمی‌باشـد. ما هر قدر که کوشش کنیم، نمی‌توانیم یک الکترون را به قدری شتاب بدهیم که سرعتش به c و یا بالاتر از آن برسد. در واقع، سرعت هیچ جسم یا ذره‌یی را نمی‌توان به سرعت مسیر اشعهٔ نور در خلاء رساند. صحت نتیجهٔ اول را می‌توان در نتیجهٔ دوم جستجو کرد. در سرعت‌های خیلی بالا، کتلهٔ جسـم همرا با سـرعتش زیاد می‌شود. این خاصیت را در حرکت الکترون‌ها می‌توان نشـان داد. برای این منظور الکترون‌ها را با سـرعت معلوم وارد سـاحهٔ مقناطیسی می‌کنیـم. می‌دانیم در ایـن حالت نیز الکترون‌ها در مسـیر دایروی بـه حرکت خود ادامه می‌دهند و باید قوه‌های جذب به مرکز ($\frac{mv^2}{r}$) با قوهٔ سـاحهٔ مقناطیسـی، (qVB) با هم در تعادل قرار بگیرند تا الکترون‌ها بتوانند به حرکت مستقیم‌شان ادامه دهند.

بنابرین، از مساوی بودن این دو قوه داریم:

$$\frac{mv^2}{r} = qVB$$

از این رابطه قیمت m چنین حاصل می‌شود:

$$m = \frac{qBr}{V}$$

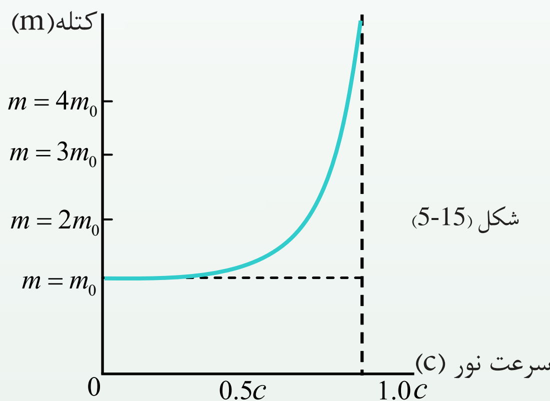


شکل (5-14)

چون کتلهٔ الکترون قابل محاسـبه اسـت. در واقع این مومنتم الکترون است که می‌تواند به طور مسـتقیم اندازه شود. مقدار مومنتم در این‌جا $mv = qBr$ است، که در آن کمیت‌های B و r بـا انجـام دادن تجربه در لابراتوار تعیین می‌شـوند. چون در عمـل m را اندازه‌گیری نمی‌کنیم، از آن به عنوان «کتلهٔ ظاهری» یاد می‌کنند.

نتایج اندازه‌گیری m به صورت تابعی از سرعت در شکل (5-15) نشان داد شده است. کتلهٔ ذره را در حالتی که ساکن است (با سرعت صفر)، «کتلهٔ سکون ذره» می‌نامند و آن را به $m_\circ$ نشان می‌دهند. چنان‌چه در شکل می‌بینیم، کتلهٔ الکترون در سرعت‌های پایین نزدیک به $m_\circ$ است. اما وقتی که v به c نزدیک می‌شود، کتلهٔ ذره به سرعت زیاد می‌گردد.

انشتاین پیش‌بینی کرد که وقتی v خیلی به c نزدیک می‌شود، کتلهٔ ذره به سمت بی‌نهایت تقرب می‌کند، $v \to c, m \to \infty$. این ادعا تا اکنون با به دست آوردن مقادیر بیشتر از هزاران مرتبه برای نسبت $\frac{m}{m_\circ}$ از طریق تجارب تأیید شده است. ما بر این باوریم که تمام اجسام تابع همین خاصیت هستند، یعنی با نزدیک شدن سرعت هر جسمی‌به سرعت نور در خلاء، کتلهٔ ظاهری آن به طور نا محدود زیاد می‌شود.



شکل (5-15)

انشتاین نشان داد که کتلهٔ جسم (m) در هنگام حرکت از رابطهٔ ذیل حساب شده می‌تواند:

$$m = \frac{m_\circ}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$$

در این فورمول، v سرعت الکترون نسبت به ناظر، c سرعت نور در خلاء $m_\circ$ کتلهٔ سکون و m کتلهٔ اندازه‌گیری‌شدهٔ الکترون در وقت حرکت به وسیلهٔ ناظر است. قابل یاد آوریست، وقتی $v=0$ است، کتلهٔ جسم برابر به کتلهٔ جسم در حالت سکون آن یعنی $m = m_\circ$ می‌شود، اما هنگامی‌که قیمت v به c نزدیک می‌شود ($v=c$)، مخرج معادلهٔ بالا به صفر نزدیک گردیده و کتلهٔ m به طرف لایتناهی می‌رود، یعنی $m \to \infty$. منحنی شکل گراف تغییرات معادلهٔ

مذکور را نشـــان می‌دهد. فورمول تغییر کتله با سرعت نه تنها برای الکترون‌ها و دیگر ذرات اتومی، بلکه برای همهٔ اجسام متحرک معتبر است. ولی چون سرعت اجسام بزرگ‌تر از قبیل اجســامی‌که در زنده‌گی روزانه با آن‌ها ســروکار داریم، معمولاً در مقایســه با سرعت نور به قدری کم اســت که مقدار $\frac{v}{c}$ بســیار کوچک می‌شــود. در این صورت مقدار $\frac{v^2}{c^2}$ فوق‌العاده کوچــک تر گردیده و در نتیجه مقادیر m و $m_\circ$ به قدری به هم نزدیک می‌شــوند که دربارهٔ تفــاوت آن‌ها چیزی نمی‌توانیم بگوییــم. به عبارهٔ دیگر، افزایش نســبتی کتله را به صورت عملی تنها در مورد ذراتی می‌توان تشخیص داد که اندازهٔ ابعاد اتومی کوچک‌تر از آن دارند و می‌توانند ســرعت کوچک‌تر از c پیدا کنند. مواردی که تا به این‌جا مورد بحث قرار گرفته شد، اهمیت تاریخی دارند، زیرا سرانجام فزیک‌دانان را به درست بودن تیوری نسبیت متقاعد کرد. تجاربی که در سال‌های اخیر به عمل آمده اند، شواهد برجسته‌تری برای نارسایی فزیک نیوتنی در مورد ذراتی که سرعت بسیار زیاد دارند، فراهم آورده است. به الکترون‌ها می‌توان انرژی‌های بســیار زیاد داد. این کار با شــتاب دادن به الکترون‌ها به وسیلهٔ یک ولتاژ قوی در خلاء صورت می‌گیرد. چون چارج الکترون q_e معلوم اســت، زیاد شدن انرژی ($q_\circ v$) معلوم و کتلهٔ ســکون ($m_\circ$) الکترون نیز معلوم اســت. و ســرعت v را با تعیین نمودن مدت زمان، و مســیر الکترون را در یک فاصلهٔ معین می‌توان اندازه‌گیری کرد. بنابراین، مقایســهٔ مقادیر انرژی حاصل ($q_e v$) با رابطهٔ انرژی حرکی در میخانیک کلاسیک $(\frac{1}{2}mv^2)$ ممکن می‌شود. با تجارب معلوم شده است که وقتی الکترون‌ها سرعت‌های کوچکی در مقایسه با سرعت نور دارند، این رابطه برقرار است:

$$\frac{1}{2}mv^2 = q_e v$$

باید گفت، زمانی‌که از فوتو الکتریک سخن می‌زنیم، رابطهٔ فوق را به‌کار می‌بریم.

تا این جا دانستیم که الکترون‌ها در واقع سرعت‌های کوچکی دارند، m و $m_\circ$ در آن‌ها تقریباً برابر هســتند اما وقتی که سرعت الکترون‌ها زیاد می‌شود، نسبت $\frac{v}{c}$ دیگر یک کسر کوچک نیست و کمیت $(\frac{1}{2}mv^2)$ متناسب با $q_\circ v$ زیاد نمی‌شود.

این ناسازگاری با زیاد شدن $q_e v$ به سبب تغییرات در $m_\circ$ زیاد می‌شود. البته زیاد شدن انرژی حرکی هنوز هم برابر با مقدار کار انجام شده به وسیلهٔ ساحهٔ برقی $q_e v$ است. ولی چون کتله دیگر همان $m_\circ$ نیست، بنابراین انرژی حرکی را نمی‌توان با $(\frac{1}{2}mv^2)$ اندازه‌گیری کرد.

مقدار v^2 به جای آنکه پیوسته با انرژی ذخیروی زیاد شود، تا حد معینی به c^2 نزدیک می‌شود. بیان زیاد شدن کتله با سرعت، بسته به این است که چگونه زیادت انرژی حرکی با زیاد شدن کتله همراه است. هرگاه انرژی حرکی اندازه‌گیری شود و در یک نظام عطالتی K_E باشد، افزایش کتلهٔ (Δm) اندازه‌گیری شده در آن نظام متناسب با K_E خواهد بود، یعنی: $\Delta m \propto K_E$. ولی مقدار بسیار زیادی انرژی حرکی لازم است تا افزایش قابل اندازه‌گیری در کتله حاصل شود. ثابت تناسب بسیار کوچک در واقع به انشتاین نشان داد که این ثابت $(\frac{1}{c^2})$ است که در آن c سرعت نور در خلاء است، یعنی: $\Delta m = \frac{K_E}{c^2}$، پس کتلهٔ کل (m) برای یک جسم، برابر با مجموع کتلهٔ سکون $(m_\circ)$ و $\frac{K_E}{c^2}$ خواهد بود، یعنی: $m = m_\circ + \frac{K_E}{c^2}$

به اساس این پیشنهاد انشتاین، معادل با انرژی حرکی، فقط یک حالت خاص است، و بنا به نظر او، به طور کلی یک رابطهٔ تساوی دقیق میان کتله و انرژی وجود دارد. پس می‌توان انتظار داشت که مقدار کتلهٔ سکون $m_\circ$ نیز باید با یک مقدار مساوی یا برابر با انرژی سکون $(E_\circ)$ مطابقت داشته باشد. به طوری‌که $m_\circ = \frac{E_\circ}{c^2}$، پس رابطهٔ قبلی را می‌توان نوشت: $m = E_\circ / c^2 + K_E / c^2$. اگر انرژی E را برای انرژی کل یک جسم $E = E_\circ + K_E$ به کار گیریم، با تعویض قیمت‌ها در رابطهٔ فوق می‌توانیم بنویسیم: $m = E / c^2$. رابطهٔ اخیر، دقیق همان نتیجه‌گیری انشتاین در سال 1905 بود که به اساس آن، کتلهٔ یک جسم در حقیقت اندازه‌یی از محتوای انرژی آن است. این رابطه را به صورت آشنا تری که احتمالاً مشهورترین معادلهٔ فزیک است، چنین می‌نویسند: $E = mc^2$.

از توضیح معادله‌های اخیر به این اندیشه می‌رسیم که: کتله و انرژی تعبیرهای متفاوتی برای یک مشخصهٔ سیستم هستند. مناسب نیست بگوییم کتله به انرژی یا انرژی به کتله تبدیل می‌شود. بلکه می‌گوییم جسمی با کتلهٔ اندازه‌گیری شدهٔ m، انرژی‌یی برابر $E = mc^2$ دارد.

مفاهیم ضمنی این تساوی یا برابری کتله و انرژی بسیار هیجان‌انگیز است. نخست آنکه دو قانون بزرگ تحفظ (بقا)، دو بیان مترادف یک قانون واحد می‌شوند. در هر سیستمی که کتلهٔ کل آن تحفظ دارد، انرژی کلی نیز بقا خواهد داشت، ثانیاً این فکر مطرح می‌شود که ممکن این مقدار از انرژی سکون به شکل‌های دیگری از انرژی تبدیل شود. چون مقایسهٔ تساوی انرژی با کتله بسیار زیاد است. پس کاهش بسیار کمی‌در کتلهٔ سکون با آزاد شدن مقدار عظیم انرژی، به طور مثال انرژی جنبشی یا تابش الکترومقناطیسی خواهد بود.

5-6-2: طبیعت دوگانهٔ نور

می‌خواهیم یکی از رابطه‌های کتله و انرژی را دربارهٔ کوانتم‌های نور و تأثیر متقابل آن‌ها بر اتوم‌ها از نگاه نظری مورد بحث قرار دهیم، که این بحث ما از اثر فوتو الکتریک‌ها بر مودل بور متفاوت است. از بررسی اثر فوتو الکتریک دانستیم که یک کوانتم نور دارای انرژی hf است که در آن h ثابت پلانگ و f فریکونیسی نور است. این مفهوم در مورد شعاع‌های x نیز به‌کار می‌رود. می‌دانیم که شعاع‌های x مانند اشعهٔ نور مرئی تابش‌های الکترومقناطیسی هستند. اما فریکونسی آن‌ها از فریکونسی نور مرئی زیادتر است. با این هم، اثر فوتو الکتریک چیزی دربارهٔ اندازهٔ حرکت یک کوانتم به ما نمی‌گوید. می‌دانیم که یک کوانتم نور دارای انرژی است، پس آیا اندازهٔ حرکت (مومنتم) نیز دارد؟ بزرگی مومنتم p برای یک جسم به صورت حاصل ضرب کتلهٔ m و سرعت v تعریف می‌شود. یعنی: $p = m.v$. هرگاه به جای m انرژی معادل آن (E/c^2) را بگذاریم، می‌توانیم بنویسیم که: $p = EV/c^2$. معادلهٔ فوق برای محاسبهٔ مومنتم و یا اندازهٔ حرکتی به‌کار برده می‌شود که در آن از کتله نام برده نشده است. اکنون با همین معادله، اندازهٔ حرکت یک فوتون را با انرژی E معین می‌نماییم.

در این‌جا به جای سرعت v سرعت نور (c) را وضع نموده و می‌توانیم بنویسیم که: $p = EC/c^2 = E/C$. برای یک کوانتم نور $E = hf$، هرگاه به عوض E قیمت آن hf را در رابطهٔ بالا بگذاریم، اندازهٔ حرکت یا مومنتم یک کوانتم نور چینن به دست می‌آید:

$$p = \frac{hf}{c}$$

طبق تیوری الکترومقناطیسی کلاسیک، وقتی یک اشعهٔ نور (یا اشعهٔ X) به اتم‌های موجود در یک هدف (به طور نمونه یک ورقهٔ نازک فلزی) برخورد کند، نور در جهت‌های مختلف پراکنده می‌شود، ولی فریکونسی آن تغییر نمی‌خورد. جذب نور با طول موج معین به وسیلهٔ اتم ممکن است خروج مجدد نور با فریکونسی دیگر را به دنبال داشته باشد. ولی اگر موج نور به ساده‌گی پراکنده شود، طبق تیوری کلاسیک نباید تغییری در فریکونسی آن به وجود آید.

ولی بنابر تیوری کوانتمی، نور از فوتون‌ها ساخته شده است و بنا بر تیوری نسبیت، فوتون‌ها دارای مومنتم هستند. کامپتون چنین استدلال کرد که در برخورد میان یک اتوم و یک فوتون، قانون تحفظ مومنتم باید به‌کار رود. بنابرین قانون، وقتی یک جسم با یک کتلهٔ کم با جسمی‌که دارای کتلهٔ بزرگ و ساکن باشد برخورد نماید، جسم مذکور اندکی با کم شدن سرعت یعنی با تغییر کمی در انرژی، به عقب برمی‌گردد. ولی اگر اندازهٔ کتله‌های دو جسم بسیار متفاوت نباشد، مقدار زیادی از انرژی را با خود انتقال می‌دهد.

کامپتون (1892-1962) Arthur Holly Compton فزیک‌دان امریکایی حساب کرد که هرگاه یک فوتون با یک اتوم برخورد کند، در صورتی‌که اندازهٔ حرکت (مومنتم) فوتون hf/c باشد، چه مقدار انرژی باید از دست بدهد. او نتیجه گرفت که اگر یک فوتون به‌ساده‌گی به کل اتوم برخورد کند، تغییر در انرژی آن بسیار کم است. ولی اگر یک فوتون با الکترونی برخورد کند که کتلهٔ کم دارد، فوتون باید مقدار زیادی انرژی را به الکترون منتقل کند. کامپتون نظر به تجارب خود نشان داد که فوتون می‌تواند به صورت ذره‌یی باشد، با اندازهٔ حرکت و همچنان انرژی معین. او نشان داد که برخوردهای میان فوتون‌ها و الکترون‌ها از قانون تحفظ مومنتم و انرژی پیروی می‌کند که این دلیل دیگری برای واقعیت نظریهٔ کامپتون که نور مانند ذره است، می‌باشد. و باید دانست که فوتون‌ها مانند ذرات معمولی نیستند که در سرعت‌های کمتر از سرعت نور وجود داشته باشند (فوتون‌های در حال سکون وجود ندارد)، بنابراین کتلهٔ سکون برای فوتون‌ها نمی‌تواند وجود داشته باشد. ولی از جهت‌های مختلف با همین خاصیت عمل پراکنده‌گی آن مانند ذرات ماده عمل می‌کند که دارای مومنتم و انرژی می‌باشند و همچنان فوتون‌ها با داشتن خواص امواج (امواجی که فریکونسی و طول موج دارند) مانند موج نیز عمل می‌کنند. در حالات مختلف گاهی نور رفتاری با ویژه‌گی الکترومقناطیسی دارد، یعنی به شکل امواجی اند که طول موج و فریکونسی دارند که این رفتار از ویژه‌گی موجی نور است. در حالت‌های دیگر و آزمایشات، نور از خود هم رفتار موجی و هم ذره‌یی نشان می‌دهد که این‌گونه رفتارها را غالباً خاصیت دوگانه‌گی یا طبیعت دوگانه‌یی (ذره‌یی – موجی) نور می‌گویند. پس می‌توان گفت که فوتون به هر دو (ذره و موج) شباهت دارد.

هم‌چنان در سال 1923 لوییس دی بروگلی (1892-1987) Louis de Broglie دانشمند فرانسوی پیشنهاد کرد که طبیعت دوگانه‌گی (موجی – ذره‌یی) نور را در مورد الکترون‌ها و دیگر ذرات اتومی‌نیز می‌توان به‌کار برد. او گفت که احتمالاً خصلت دوگانه‌گی موجی – ذره‌یی، یک خاصیت بنیادی برای تمام مراحل (پروسه‌های) کوانتمی‌است. نظر به این خاصیت آنچه را ما همیشه به ذرات مادی می‌دانیم، در بعضی از شرایط می‌توانند مانند موج عمل کنند. هم‌چنان دی بروگلی، رابطه‌یی را برای دریافت طول موج ذره‌یی که مانند موج عمل می‌کند، دریافت کرد.

طوری‌که دیدیم، اندازهٔ حرکت فوتون با طول موج λ برابر است با $p = \frac{h}{\lambda}$. نظر دی بروگلی آن بود که این رابطه برای فوتون‌ها استخراج شده است و در مورد الکترون‌هایی‌که مومنتم $p = m.v$ دارند نیز به‌کار می‌آید. بنابرآن او پیشنهاد کرد که طول موج یک الکترون عبارت از $\lambda = \frac{h}{mv}$ می‌باشد. طبق فرضیهٔ دی بروگلی و تجارب متعدد، ثابت شده است که خاصیت دوگانه‌گی (موج- ذره) یک خاصیت عمومی‌نه تنها برای نور بلکه برای ماده نیز است، و امروز فقط معمول این است که کلمهٔ ذره را برای الکترون‌ها و فوتون‌ها به‌کار می‌بریم و هر دوی آن‌ها (با وجود این که تفاوت‌های بسیار مهمی‌میان آن‌ها وجود دارد)، هم خواص ذرات و هم خواص امواج را دارا هستند.

5-6-3: سرعت امواج دی بروگلی

با کشف نیوتن مبنی بر این‌که امواج نورگاهی مانند فوتون‌ها عمل می‌کند، این سوال مطرح گردید که آیا ممکن است که ذرات هم گاه گاه مانند امواج عمل کنند؟ بعدها معلوم گردید که در واقع ذرات نیز یک نوع خواص موج‌گونه را دارند. این نکته در سال 1913 کشف گردید، دراین سال لوئی دی بروگلی نظریه‌یی ارایه کرد که بر اساس آن، هر ذره به طول موجی وابسته است که ما این طول موج را به روش ساده بر مبنای استدلال به دست آورده می‌توانیم. طول موج و ابسته به هر ذره را می‌توان به کمک تشبیه آن ذره، به فوتون حدس زد. در مورد فوتون می‌دانیم که:

$$\text{طول موج } (\lambda) \text{ فوتون} = \frac{hc}{\text{انرژی فوتون}}$$

یا:

$$\text{انرژی فوتون} = \frac{hc}{\lambda}$$

از نسبیت می‌دانیم که رابطهٔ بین کتله و انرژی به صورت $\Delta E = (\Delta m)c^2$ است. اگرچه فوتون کتلهٔ سکون ندارد، ولی کتلهٔ معادل انرژی دارد. اگر کتلهٔ معادل انرژی فوتون را به m_{ph} نشان دهیم (ph مخفف فوتون است) می‌توان نوشت که: $m_{ph}\,c^2 =$ انرژی فوتون
این مقدار را رابطهٔ بالا قرار داده، طول موج فوتون را چنین به دست می‌آوریم:

$$\text{طول موج فوتون} = \frac{hc}{m_{ph}c^2} = \frac{h}{m_{ph}c} = \frac{h}{\text{مومنتم فوتون}}$$

زیرا که mc همان mv یا مومنتم فوتون است. هرگاه هر ذره، طول موج وابسته‌یی داشته باشد، پس این طول موج را از روی استدلال می‌توانیم به صورت ذیل نوشت:

$$\text{طول موج (}\lambda\text{) ذره} = \frac{h}{\text{مومنتم ذره}} = \frac{h}{mv}$$

این طول موج فرضی ذره را طول موج دی بروگلی می‌گویند. پس طول موج دی بروگلی برای یک ذره با کتلهٔ m و سرعت v عبارت از، $\frac{h}{mv} =$ (λ) ذره و سرعت موج دی بروگلی عبارت از $v = \frac{h}{\lambda m}$ می‌باشد.

5-7: اصول عدم قطعیت‌هایزنبرگ

ما همواره چنین گفته‌ایم که می‌توانیم هر خاصیت فزیکی را با هر صحت که خواسته باشیم، اندازه‌گیری کنیم، و برای رسیدن به صحت اندازه‌گیری به درجهٔ مطلوب، کافی است که وسیلهٔ حساس‌تر و دقیق‌تری طرح کنیم. ولی میخانیک موجی نشان داده است که حتا در آزمایش‌های فکری، و یا وسایل اندازه‌گیری ایده‌آل هم محدودیت‌هایی در صحت اندازه‌گیری وجود دارد.
به طور مثال، چگونه ما می‌توانیم مواضع و سرعت موتری را که در روی جاده به آهسته‌گی حرکت می‌کند، اندازه‌گیری کنیم. برای تعیین یک موقعیت در لحظهٔ معین، موضع قسمت پیشروی مسیر موتر را با کشیدن خطی نشانی می‌کنیم. در همان لحظه یک ستاپ واچ (ساعت توقف کننده) را سویچ می‌نماییم. موتر مسیر مورد نظر را طی می‌نماید و در لحظه‌یی که به قسمت آخر جاده رسیده، بازهم نشانی می‌کنیم و ساعت را متوقف می‌سازیم. سپس چون جهت حرکت موتر هم معلوم است، فاصله میان دو نشانی را اندازه می‌کنیم و از تقسیم فاصلهٔ طی شده بر زمان سپری شده، سرعت متوسط موتر را به دست می‌آوریم.

پس می‌دانیم که در لحظه‌یی که موتر به قسـمت نشانی شدۀ دوم رسید، در فاصلۀ معین از نقطۀ شـروع در حرکت بوده و با سرعت متوسط معین مسیر خود را پیموده است. اگر عمل مذکور را در فاصله‌های کوتاه‌تری تکرار کنیم، همچنان می‌توانیم سـرعت لحظه‌یی را در هر لحظۀ مسیر به دست آوریم.

حالا جاده و موتر را یک طرف می‌گذاریم و الکترونی را که از میان یک لامپ (گروپ) تخلیه می‌گذرد، در نظر می‌گیریم. ما کوشش می‌کنیم که موقعیت و سرعت الکترون را اندازه‌گیری کنیم. ما باید تغییراتی را در طریقۀ اندازه‌گیری خود به عمل بیاوریم. ما می‌دانیم که الکترون به قدری کوچک است که نمی‌توانیم جای آن را به کمک نور مرئی معین کنیم. (طول موج نور مرئی با آن‌که کوچک است، ولی هنوز هم 10^4 بار بزرگ‌تر از قطر یک اتوم است).

برای دریافت مکان یک الکترون در ساحه‌یی به اندازۀ قطر یک اتم (از یک سر تا سر دیگر در حدود $10^{-10}m = 1A^\circ$) باید از اشعۀ نوری استفاده کنیم که طول موج آن در حدود $10^{-10}m$ یا حتا کوتاه‌تر از آن باشد. اما فوتون که با چنین طول موج کوتاه (λ) (فریکونیسی زیاد f)، مومنتـم $\frac{h}{\lambda}$ و انرژی (hf) فوق‌العاده زیـادی دارد، با توجه به این می‌دانیم که این فوتون‌ها هنگامی‌که به وسـیلۀ الکترون‌ها پراکنده می‌شوند، مانند آن است که لگد سختی به آن زده می‌شـود. در نتیجۀ تیزی الکترون، تغییر بسـیار زیادی در جهـت جدید و نامعلومی‌خواهد کرد. (که این مسألۀ جدیدی است، مسأله‌یی که در هنگام بحث دربارۀ اندازه‌گیری موقعیت موتر، حتا دربارۀ آن فکر هم نمی‌کردیم). از این رو وقتی ما فوتون پراکنده نشده را دریافت می‌کنیـم، می‌توانیم از جهتی که دارد، نتیجه بگیریم که الکترون کجا بوده اسـت و در این صورت در واقع، مکان الکترون را یافته‌ایم. اما در این پروسـه سـرعت الکترون را هم از نظر بزرگـی و هم از نظـر جهت تغییر داده ایم. واضح بگوییم، اگر چه می‌توانیم جای الکترون را (با اسـتفاده از طول موج کوتاه‌تر) با صحت بیشـتری معین کنیم، ولی سرعت آن با صحت کمتری معلوم می‌شود. ما می‌توانیم با فوتون‌های کم‌انرژی تر، برانگیخته‌گی الکترون را کمتر کنیم. ولی چون نور به صورت کوانتم‌های hf انرژی وجود دارد، فوتون‌های کم‌انرژی‌تر، طول موج‌های بزرگ‌تری خواهند داشت. بنابراین عدم قطعیت بیشتری در دقت موقعیت الکترون حاصل می‌شود.

خلاصه آنکه ما نمی‌توانیم هم‌زمان هم مکان و هم سـرعت یک الکترون را با صحت و دقت کامـل اندازه‌گیـری کنیم، این نتیجه‌گیری را اصل عدم قطعیت می‌گویند که نخسـتین بار به وسیلهٔ ورنرهایزنبرگ (1901-1976) Werner Heisenberg فزیکدان جرمنی بیان شده است. اصل عدم قطعیت را می‌توان به طور کمی‌با فورمول ساده‌یی که از معادلهٔ موجی شـرودینگر برای حرکت ذرات اسـتخراج شده اسـت، بیان کرد. هرگاه Δx عدم قطعیت در مکان و (Δp) عدم قطعیت در مومنتم باشد، به سویه‌های بالا ثبوت خواهید کرد که حاصل ضرب دو عدم قطعیت باید برابر یا بزرگ‌تر از ثابت پلانگ بر 2π باشد، یعنی: $Dx = \frac{\lambda}{2\pi}$

$$\Delta x \, . \, \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$$

همین استدلال و معادله در مورد تجارب موتر صادق است، ولی محدودیت آن برای جسم‌هایی که کتله‌های زیاد دارند، نتیجهٔ عملی ندارد. فقط در مقیاس اتومی‌اسـت که این محدودیت آشکار و حایز اهمیت می‌باشد.

خلاصهٔ فصل پنجم

• اســاس فزیک جدید را نظریه‌های نسبیت و کوانتمی‌تشکیل می‌دهد. نظریات نسبیت مربوط مطالعهٔ پدیده‌ها در سرعت‌های بسیار زیاد (نزدیک به سرعت نور) است.

• نظریات کوانتمی‌به مطالعهٔ پدیده‌هایی در اندازه‌های بســیار کوچک مانند مالیکول‌ها، اتوم‌ها و ذره‌های کوچکی که اتوم‌ها را می‌سازند، می‌پردازد. ذراتی که اتوم‌ها را می‌سازد، به نام ذرات تحت اتومی‌یاد می‌شوند.

• امواج الکترومقناطیسی که از سطح اجسام در هر درجهٔ حرارت پخش می‌شود، تابش حرارتی از ســطح اجســام گفته می‌شــود. اگر در یک طیف بین طول موج‌ها فاصله نباشد، آن طیف را طیف پیوسته می‌گویند.

• جســمی‌که بتواند همهٔ طول موج‌های وارده را به طور کامل جذب کند، جســم ســیاه گفته می‌شود. نسبت مقدار انرژی تابشی جذب شده توسط هر جسم بر انرژی تابشی وارده بر جسم را ضریب جذب آن جسم می‌نامند که به $a\lambda$ نمایش داده می‌شود.

• شــدت تابشی یک جسم مســاوی است با مقدار مجموع انرژی امواج الکترومقناطیسی که در یک ثانیه از واحد سطح آن جسم پخش می‌شود.

• تابنده‌گی (درخشنده‌گی) یک جسم در هر طول موج مساوی است با مقدار انرژی موج‌های الکترومقناطیســی با طول موج‌های بین λ و $\lambda + \Delta\lambda$ که در واحد زمان از واحد ســطح جسم پخش می‌شود.

• طیف نور پخش شده از بخار هر عنصر را طیف اتومی‌آن عنصر می‌نامند و طیف حاصل از نور پخش شده از بخار عناصر را طیف پخشی و یا نشری آن اتوم می‌نامند. طیف نور سفیدی را که بعضی از خط‌ها یا طول موج‌های آن جذب شده باشد، طیف جذبی می‌نامند.

• بنابــر نظریــهٔ ماکس پلانــک، مقدار انرژی‌یی که جســم بــه صورت موج‌های الکترومقناطیســی منتشــر می‌کند، همواره مضرب تامی‌از یک مقدار ثابت اســت که این مقدار ثابت به فریکونسی موج الکترومقناطیسی بسته‌گی دارد. مطابق این نظریه، انرژی یک موج الکترومقناطیسی با فریکونسی ν برابر است. $E = nh\nu$ در این رابطه n یک عدد تام مثبت است و ضریب h مقدار ثابتی است که به نام ثابت پلانک یاد می‌شود و n تعداد کوانتم‌ها را مشخص می‌سازد که به نام عدد کوانتمی‌یاد می‌شود.

• در سال 1988 میلادی‌هانریچ هرتز دانشمند آلمانی مشاهده کرد، وقتی نوری با طول موج بسیار کوتاه مانند نور بنفش، به کلاهک فلزی یک برق‌نما که دارای چارج منفی است بتابد، باعث تخلیهٔ برق‌نما می‌شود، که این تخلیهٔ الکتریکی (برقی) به دلیل جدا شدن الکترون‌ها از سطح یک فلز توسط تابانیدن نور به آن را پدیدهٔ فوتوالکتریک، و الکترون‌های منتشــر شــده از سطح فلز را فوتوالکترون می‌نامند.

• بـور مودل خود را برای اتــوم هایدروجن که یک الکتــرون دارد، ارایه کرد که این مودل مبتنی بر آن است.

1. الکترون‌هــا تنهــا روی مدارهای دایره‌یی با شــعاع‌های معینی حرکــت می‌کنند که این مدارها، مدارهای ثابت (stationary orbits) نامیده می‌شود.

2. در اتــم بعضی حالت‌های خــاص حرکتی به نام حالت‌های ثابت وجــود دارد که در این حالت‌ها، دیگر طبق معمولی (اصول فزیک کلاسیک) الکترون انرژی الکترومقناطیسی بخش نمی‌کند، که در این وضعیت می‌گوییم: الکترون در یک حالت ثابت است.

3. شــعاع مدارهای ثابت، مقدارهای مشــخص گسسته‌یی می‌توانند داشته باشند. اگر شعاع اولین مدار را برابر به a_0 بگیریم، شعاع‌های مجاز ممکنه از رابطهٔ ذیل به دست می‌آید.

$$r_n = a_0 n^2$$
$$r = 2.3......$$

که در این رابطه، توان n یک عدد صحیح است.

4. بور هم‌چنین فرض کرد که اگرچه الکترون ثابتی که در یک حالت ثابت خاص، با انرژی E_m نمی‌تابد، اما می‌تواند با رفتن به سطح (سویه) انرژی پایین‌تر E_{n2}، بتابد. در این صورت در ســویهٔ پایین‌تر، انرژی الکترون کم‌تر از انرژی ســویهٔ اولی آن است، یعنی $E_{n2} < E_{n1}$ و اختــلاف انرژی به صورت کوانتم یا فوتون نوری ظاهر می‌شــود، که این اختلاف انرژی بین سویه‌ها برابر است با: $h\nu = E_{n1} - E_{n2}$

• در 8 نوامبر ســال 1893 رونتگن فزیک‌دان مشــهور جهان که مصروف تجربه با شعاع‌های کتود بود، شــعاع جدید و ناشناخته‌یی را کشــف کرد. او در تجربهٔ خود نور ضعیفی بر روی دستگاه کوچکی که در نزدیکی‌اش بود، مشاهده کرد. رونتگن نشان داد که شعاع X از محل تولید به خط مســتقیم منتشــر می‌شود و صفحهٔ عکاســی را نیز سیاه می‌کند. او به تفصیل توانایی نفوذ شــعاع X را در مواد مختلف مانند کاغذ، چوب، المونیم، پلاتین و ســرب شرح کرد. او گفت که توانایی نفوذ این شــعاع‌ها از مواد ســبک مانند کاغذ، چوب، گوشت بیشتر از مواد متراکم مانند پلاتین، سرب و استخوان است. از این شعاع زیادتر در طبابت استفاده می‌شود.

• نظریهٔ نسبیت انشتاین بیان می‌دارد که:

1- هیچ نوع جسم یا انرژی را نمی‌توان با سرعتی بالاتر از سرعت نور (c) در خلاء به حرکت آورد.

2- کتلهٔ هر جسمی‌همرا با زیاد شدن سرعت آن زیاد می‌شود، کتلهٔ جسم را هنگامی‌که سرعت آن برابر $V = 0$ باشد، کتلهٔ سکون را $m_{\circ}$ می‌نامند. انشتاین نشان داد که: $m = m_{\circ}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ است.

3- فرض کنید که یک وسیلهٔ اندازه‌گیری زمان (هر نوع ساعت) با سرعت زیاد از مقابل شخصی در حرکت است. اندازه‌گیری این را نشان خواهد داد که کار تک تک ساعت در مقایسه با کار همان ساعت که نسبت به شخصی در حال سکون است، کندتر می‌شود.

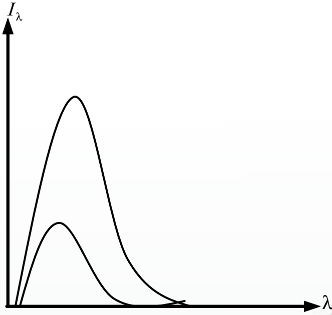
• کامپتون در اثر تجربهٔ خود نشان داد که یک فوتون را می‌توان مانند یک ذره دانست که دارای اندازهٔ حرکت و هم‌چنان دارای انرژی معین است و هم‌چنان او نشان داد که برخوردهای میان فوتون‌ها و الکترون‌ها از قانون تحفظ مومنتم (اندازهٔ حرکت) و انرژی پیروی می‌کند. همچنان کامپتون گفت که فوتون‌ها در حال سکون وجود ندارند. بنابراین کتلهٔ سکون برای فوتون‌ها نمی‌تواند وجود داشته باشد. همچنان او گفت که فوتون‌ها در بعضی جهت‌ها مانند ذرات ماده عمل می‌کنند، با اندازهٔ حرکت و انرژی معین و در بعضی حالت‌ها مانند امواج عمل می‌کنند که دارای فریکانس و طول موج استند، همچنان رفتار الکترومقناطیسی دارند. دی بروگلی فزیک‌دان فرانسوی پیشنهاد کرد که خاصیت دوگانه‌گی موجی – ذره‌یی تابش را درمورد الکترون‌ها و دیگر ذرات اتومی‌نیز می‌توان به‌کار برد. او گفت که احتمالاً خاصیت دوگانه‌گی (موجی – ذره‌یی) یک خاصیت بنیادی برای تمام پروسه‌های کوانتمی‌است و آنچه را ما همواره ذرات مادی می‌دانیم، در بعضی شرایط می‌توانند مانند موج عمل کنند.

نظریهٔ دی بروگلی چنین بود که هر ذره به طول موجی وابسته است. طول موج موج وابسته به هر ذره را به کمک تشبه آن با ذرهٔ فوتون می‌توان حدس زد. طول موج دی بروگلی برای ذره‌یی با کتلهٔ m و سرعت v عبارت از: h/mv = طول موج ذره (λ)

• مکان الکترونی که دارای سرعت زیاد است، در نتیجهٔ تیزی الکترون تغییر بسیار زیادی در جهت جدید و نامعلوم پیدا می‌کند. ما می‌توانیم از جهتی که دارد نتیجه‌گیری کنیم که الکترون‌ها کجا بوده و جهت آن کدام است. خلاصه این‌که ما نمی‌توانیم هم مکان و هم سرعت یک الکترون را با صحت محدود اندازه‌گیری کنیم. این نتیجه‌گیری در اصل عدم قطعیت نخستین بار توسط ورنرهایزنبرگ بیان شد. اصل عدم قطعیت را می‌توان به طور کمی‌یا فورمول ساده‌یی که از معادلهٔ موجی شرودینگر برای حرکت ذرات استخراج شده است، بیان کنیم.

هرگاه Δx عدم قطعیت در مکان و Δp عدم قطعیت در اندازهٔ حرکت باشد، دراین صورت حاصل ضرب دو عدم قطعیت برابر یا بزرگ‌تر از ثابت پلانگ بر 2π است، یعنی: $\Delta x.\Delta p \geq h/2\pi$

سؤال‌های فصل پنجم



1- در شکل مقابل، تابنده‌گی دو جسم سیاه و غیر سیاه با عین درجهٔ حرارت نشان داده شده است، با دلیل توضیح دهید که کدام یک از منحنی‌ها مربوط به جسم سیاه و کدام یک مربوط به جسم غیرسیاه است.

2- تابش پخش شده از سطح هر جسم به کدام عوامل بسته‌گی دارد؟ توضیح دهید.

3- نخستین نظریه از نظریه‌هایی که مبانی میخانیک کوانتمی‌را تشکیل می‌دهد، توسط کدام دانشمند فزیک ارایه شد؟

4- نارسایی‌های فزیک کلاسیک در توجیه پدیده‌ها چه بود؟ از آنچه در مورد آموخته‌اید، چند سطر بنویسید.

5- چه چیز سبب شد که تحقیقات تازه در مورد شناخت ماده و ساختمان اتوم آغاز شود؟

6- شعاع ایکس(x) برای اولین بار توسط کی و چطور کشف گردید؟

7- نظریهٔ کامپتون را راجع به طبیعت دوگانهٔ نور بنویسید

8- بنابر اصول قطعیت، موقعیت و سرعت الکترون‌ها را چگونه تعیین می‌نماییم؟

سؤالات چهار جوابه:

1- واحد ثابت ماکس پلانگ عبارت از:

الف: الکترون ولت ev ب: الکترون ولت فی ثانیه ev/s

ج: ژول ثانیه $J.s$ د: ژول فی ثانیه J/s

2- در پدیدهٔ فوتوالکتریک مقدار ولتاژ متوقف کننده به چه عامل‌هایی بسته‌گی دارد؟

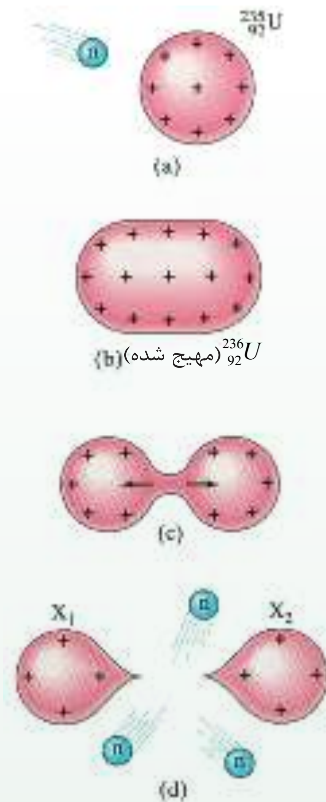
الف: بزرگی سطح الکترود فلزی و شدت نور وارده ب: فریکونسی نور وارده

ج: فریکونسی نور وارده و جنس الکترود فلز

3- معادلهٔ سرعت دوبروگلی عبارت از:

الف- he/λ ب- $\lambda = h/mv$ ج- $v=h/\lambda m$ د- $v=d/t$

فزیک هسته‌یی



پیش از این با برخی از مفهوم‌های فزیک اتومی‌جدید آشنا شدیم. نظریه‌های نسبیت و کوانتمی‌در سدهٔ بیستم میلادی، فزیک را به طور کامل متحول ساخت. امروز داشمندان به کمک مفهوم‌ها و نظریه‌های مکاتب کوانتمی، برای بسیاری از پدیده‌ها به توجیه‌های کاملاً سازگار با تجربه دست یافته‌اند.

اولین تجارب را، رادرفورد در بمباردمان اتوم‌ها توسط اشعهٔ الفا (α)، نشان داد که هستهٔ اتوم بسیار کوچک اما دارای بخش اعظم کتله است. او نتیجه گرفت که همهٔ هسته‌ها داری پروتون اند. اما کتلهٔ هسته‌ها بیشتر و چارج آن‌ها کمتر از مقداری است که با توجه به تشکیل آن‌ها از پروتون در هسته انتظارمی‌رود. پس باید در هسته، نوعی ذرات خنثایی یا ترکیب برقی خنثا از ذرات با چارج مخالف وجود داشته باشد. معمای ذرات خنثا تا سال 1932 حل ناشده باقی ماند.

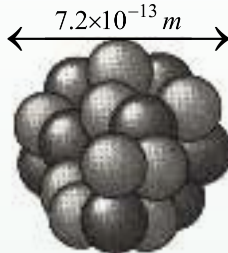
فاصلهٔ متوسط میان پروتون‌ها در هسته خیلی کم است، بنابرین قوهٔ دافعهٔ برقی میان آن‌ها بسیار بزرگ است. اگر یک قوهٔ جاذبهٔ بزرگ‌تر برای اتصال پروتون‌ها و نیوترون‌ها وجود نداشته باشد، این قوه به شدت پروتون‌ها را از هم دور خواهد کرد.

در این فصل، یکی از موضوع‌های اساسی که در فزیک جدید اتومی‌مطرح می‌شود، یعنی ساختار هستهٔ اتوم و برخی از ویژه‌گی‌ها و عکس‌العمل‌های مربوط به آن را مورد مطالعه قرار می‌دهیم و شما با مفاهیمی‌از قبیل انرژی بسته‌گی هسته‌یی، رادیواکتیف طبیعی، رادیواکتیف مصنوعی، ایزوتوب‌های رادیواکتیف، انشقاق هسته، تعامل زنجیره‌یی، گداز هسته‌یی و ریکتور هسته‌یی آشنایی حاصل خواهید کرد.

6-1-1: اندازه و ساختار هسته

آیا می‌دانیدکه چه وقت و توسط کدام شخص مطالعهٔ اندازه و ساختار هسته آغاز یافت؟ و چه نتیجه‌یی از آن به‌دست آمد؟

سال 1896 میلادی را می‌توان زمان آغاز مبحث فزیک هسته‌یی دانست. زیرا در این سال بود که هنری بیکیورل (Becquerel Henri) تشعشعات رادیواکتیف (Radio Active) و ترکیب‌های یورانیم (U)را کشف کرد.



شکل (6-1)

از آن پس، دانشمندان دیگری با انجام تجارب متعدد و ارایهٔ مدل‌ها و نظریه‌های به‌خصوص در مورد میخانیک کوانتم، به گسترش و تکمیل این بحث پر داختند.

محاسبات رادرفورد (Rutherford) آشکار ساخت که شعاع هسته‌ها بزرگ‌تر از حدود $10^{-14}\,m$ نمی‌باشد که بنابر کوچکی طول شعاع آن‌ها در فزیک هسته، فیمتومتر *fm* به‌حیث واحد مناسب قبول شده است، که آن‌را بعضی اوقات فرمی(*fermi*) هم می گویند و فرمی‌برابر به $10^{-15}\,m$ می‌باشد.



فعالیت

در یک میدان ورزشی ناحیه‌یی را مشخص کنید که ابعاد آن به همان اندازه کوچک‌تر از ابعاد سطح میدان است که ابعاد هستهٔ اتوم کوچک‌تر از ابعاد خود اتوم می‌باشد. فکر کنید و دربارهٔ با گروپ‌ها به‌بحث بپردازند.

هستهٔ هر اتوم شامل تعداد معینی پروتون و نیوترون است، به جز هستهٔ اتوم هایدروجن معمولی که تنها یک پروتون دارد. پروتون (Proton) ذره‌یی است با چارج $+e$، ولی نیوترون (Neutron) از نظر برقی خنثا می‌باشد. پروتون‌ها و نیوترون‌ها را به طور کلی ذرات هسته می‌نامند. مقدار چارج و کتلهٔ ذره‌های سازندهٔ اتوم‌ها در صفحهٔ یک‌صدوچهل‌وسوم کتاب نمایش داده شده است.

تعداد پروتون‌های هستهٔ هر اتوم را عدد (نمبر) اتومی‌می‌نامند و آن را با **Z** نشان می‌دهند. به این ترتیب، چارج کل هسته $+ze$ است. می‌دانیم که اتوم از نظر چارج برقی خنثا است. از این رو باید تعداد پروتون‌های موجود در هستهٔ یک اتوم با تعداد الکترون‌های آن اتوم برابر باشد. همان‌گونه که گفتیم، هر هسته علاوه بر پروتون‌ها، تعدادی نیوترون نیز دارد. تعداد نیوترون‌های موجود در یک هسته را عدد نیوترونی آن هسته می‌نامند و آن را **N** با نمایش می‌دهند. به این ترتیب، تعداد کل نوکلیون‌های هر هسته برابر است با $Z+N$ است که این مقدار را عدد (نمبر) کتلهٔ اتمی‌می‌نامند و آن را با A نمایش می‌دهند، یعنی:

$$A = Z + N............(1)$$

با توجه به آنچه گفته شد، در فزیک هسته‌یی، علامهٔ کیمیایی یک اتوم x را به صورت زیر نمایش می‌دهند:

$$x \cong {}_{Z}^{A}X^{N} \text{ (هستهٔ اتوم)}$$

واضح است که اگر مقدار N را ننویسیم، بازهم می‌توانیم علامهٔ کیمیاییX را با ${}_{Z}^{A}X$ نمایش دهیم.

مثال: ${}_{26}^{56}Fe$ هستهٔ اتوم آهن است که 26 پروتون و $N = 56 - 26 = 30$ نیوترون دارد.
همچنان به مثال‌های زیر دقت شود:

$${}_{1}^{1}H \text{ یا } {}_{1}^{1}H^{0} \cong \text{اتوم هایدروجن}$$

$${}_{2}^{4}He \text{ یا } {}_{2}^{4}He^{2} \cong \text{هستهٔ اتوم هیلیوم}$$

$${}_{29}^{63}Cu \text{ یا } {}_{29}^{63}Cu^{34} \cong \text{هستهٔ اتوم مس}$$

اتوم هر عنصر، تعداد پروتون‌های مشخص دارد، به این معنی که هیچ دو اتومی‌که از یک جنس نباشند، تعداد پروتون‌های برابر با هم ندارند. از این رو عدد Z به طور کامل مشخص می‌کند که هسته، مربوط به کدام عنصر است. به همین دلیل گاهی برای ساده‌گی بیشتر، از مقدار N در علامهٔ هسته صرف نظر می‌کنند؛ زیرا با مشخص شدن علامهٔ کیمیایی مربوط، مقدار N هم مشخص می‌شود.



سوالات

1- ابعاد هستهٔ اتوم به چه اندازه از ابعاد اتوم کوچک تر است.

2- در فزیک هسته‌یی، علامهٔ کیمیایی یک اتوم را به کدام شکل می‌توان نمایش داد؟ مثال بیاورید.

مثال: ماده‌یی که در نخستین بمب هسته‌یی به کار رفت، یورانیم 235 بود. فراوانی این ایزوتوپ یورانیم طبیعی فقط در حدود 0.715 در صد است. یورانیم، عنصر شماره 92 در جدول دوره‌یی عناصر است. تعداد هرکدام از نیوترون‌ها و پروتون‌های موجود در یورانیم 235 چقدر است؟

حل: نظر به سوال داریم که: $Z = 92$ و $A = 235$

پس تعداد پروتون‌های موجود در هر هسته برابر به 92 است. چون نیوترون‌ها از تفاضل ($A - Z$) به دست می‌آید، پس تعداد آن‌ها برابر به 143 می‌شود و علامهٔ مشخصهٔ این ایزوتوپ به صورت ($^{235}_{92}U$) نشان داده می‌شود.

6-1-2: قوهٔ هسته‌یی

دیدیم که هسته از نیوترون‌های بی‌چارج و پروتون‌های دارای چارج مثبت تشکیل شده است. اکنون این سوال مطرح می‌شود که چه قوه‌یی این ذرات هسته را در کنار یک دیگر نگه می‌دارد؟

در فصل قبل دیدیم که قوه‌یی که بر الکترون‌ها در مدارهای اتومی‌وارد می‌شود، قوهٔ شناخته شدهٔ جاذبهٔ برقی بین چارج‌های مخالف است. اما واضح است که این قوه‌یی نیست که ذرات را در هسته نگه می‌دارد. زیرا اولاً، نیوترون بی‌چارج است و قوهٔ برقی بر آن اثر نمی‌کند. ثانیاً پروتون‌ها چارج مثبت دارند و قوهٔ برقی بین آن‌ها دافعه‌یی است. ممکن است تصور شود که قوهٔ جاذبه‌یی بین ذرات هسته، آن‌ها را درکنار یک‌دیگر نگه می‌دارد. در حالی که چنین هم نیست، زیرا قوه‌های جاذبه‌یی موجود بین ذرات هسته، آن‌قدرکوچک‌تر از قوه‌های دافعهٔ برقی بین پروتون‌ها است، که می‌توان آن‌ها را نادیده گرفت. دانشمندان از مجموع مطالعات و آزمایش‌های موجود نتیجه گرفته‌اند که باید قوهٔ دیگری بین ذرات هسته وجود داشته باشد تا آن‌ها را در کنار یک‌دیگر نگه‌دارد و این قوه را قوهٔ هسته‌یی نامیده‌اند.

قوۀ هسته‌یی در فاصلۀ بسیار کوچک، یعنی تنها بین ذره‌های هسته که به فاصلۀ خیلی کم (در حدود $2fm$) از یک‌دیگر قرار دارند، عمل می‌کند. مقدار این قوه زیاد و قابل ملاحظه است. قوۀ جاذبۀ هسته‌یی بین دو پروتون با چنین فاصلۀ کم از یک‌دیگر، بسیار قوی‌تر از قوۀ دافعۀ برقی بین آن‌هاست. از این رو قوۀ هسته‌یی را قوۀ عظیم نیز می‌نامند.



سوالات

1. قوۀ هسته‌یی کدام قوه را گویند؟
2. پروتون و نیوترون از هم چه فرقی دارند؟

6-1-3: ایزوتوپ یعنی چی؟

هسته‌های یک عنصر کیمیایی معین را که تعداد نیوترون‌های متفاوت و در نتیجه نمبر کتلۀ اتمی متفاوت دارند، ایزوتوپ‌های آن عنصر می‌نامند. تعداد نیوترون‌های موجود در هستۀ اتوم یک مادۀ کیمیایی معین (برخلاف تعداد پروتون‌های آن) ثابت نیست. به‌طور مثال:

هسته‌های عنصر کاربن دارای سه ایزوتوپ $^{12}_{6}C^{6}$, $^{13}_{6}C^{7}$ $^{14}_{6}C^{8}$ است

که در این میان، فراوانی ^{12}C در طبیعت 98.9 درصد و فراوانی کاربن ^{13}C برابر به 1.1 درصد است، اما کاربن ^{14}C به کلی در طبیعت یافت نمی‌شود. لذا آن را در آزمایشگاه و در حین برخی از پروسه‌های هسته‌یی به دست می‌آورند. اتوم هایدروجن سه ایزوتوپ دارد که عبارتند از: $^{1}_{1}H$، $^{2}_{1}H$ و $^{3}_{1}H$

این ایزوتوپ‌ها دارای خاصیت‌های بسیار متفاوتی هستند.

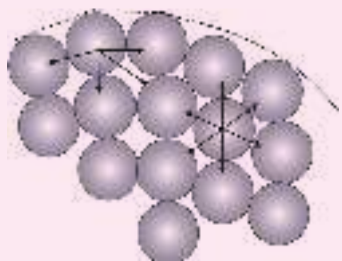
نام ذره	چارج (کولمب)	کتله (Kg)	شعاع (fm)
الکترون	$-1.6\times10^{-19}=-e$	$9.1\times10^{-31}=Me$	غیر قابل اندازه‌گیری با وسیله‌های موجود
پروتون	$+1.6\times10^{-19}=+e$	$1.67\times10^{-27}=Mp$	1.2
نیوترون	صفر	$1.68\times10^{-27}=Mn$	1.2

از ایـن‌رو آن‌هـا را به نام‌های متفاوت می‌خوانند. هایدروجـن معمولی (که تنها یک پروتون داشته و نیوترون ندارد)، سبک‌ترین و متداول‌ترین ایزوتوپ هایدروجن است. 99.985 درصد هایدروجنی که در طبیعت یافت می‌شود، از این نوع است. ایزوتوپ بعدی (^2_1H) که دوتریوم نامیده می‌شـود، با علامه ^2_1D نیز نشان داده می‌شـود. دوتریوم یک پروتون و یک نیوترون دارد و بسـیار نادر اسـت، چنان‌چه محض 0.015 درصد هایدروجنی که در طبیعت یافت می‌شـود، از این نوع می‌باشد. ایزوتوپ نوع سوم هایدروجن (^3_1H) بوده و ترینیوم نام دارد کـه با علامهٔ (^3_1T) نشـان داده می‌شـود و در طبیعت در مقابل هـر 10^8 اتوم هایدروجن معمولی فقط یک ایزوتوپ (^3_1T) وجود دارد.



فعالیت

با استفاده از جدول قبلی، قوه‌های جاذبه‌یی و برقی بین دو پروتون را که به فاصلهٔ r از یک‌دیگر واقع اند، محاسبه کنید.



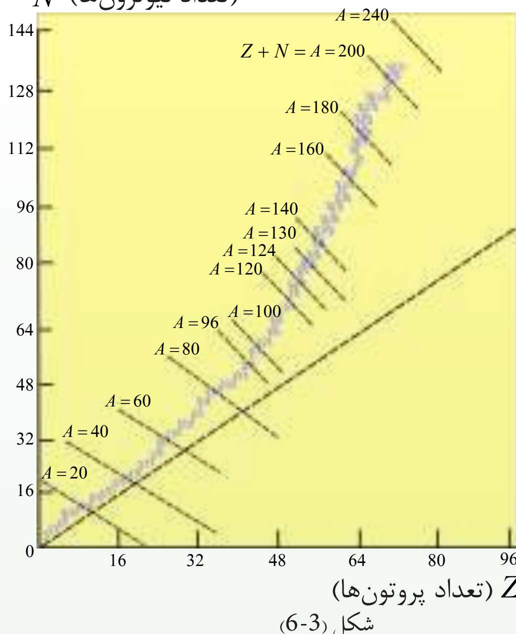
شکل (2-6)

6-1-4: پایداری هسته‌ها

به تصور شما، هسته چه وقت پایدار بوده می‌تواند؟

می‌دانیم که قوهٔ دافعهٔ برقی بین پروتون‌ها سعی بر از هم پاشیدن یا متلاشی شدن هسته‌ها را دارد؛ امـا چون قوهٔ جذب هسـته‌یی بر این قوه غلبه دارد، هسـته پایدار می‌ماند. هر چه تعداد ذره های داخل یک هسـته بیش‌تر باشـد، هسـته بزرگ‌تر و فاصلهٔ بین ذرات هسته زیادتر می‌شـود و در نتیجه تعادل بین قوه‌ها، ضعیف و هسـته ناپایدارتر می‌گردد. این گونه ایزوتوپ‌ها را ناپایدار می‌نامند. با گذشـت زمان، در هسـتهٔ ایزوتوپ‌هـای ناپایدار تغییراتی صورت می‌گیرد که در نتیجه، آن‌ها به هسـته‌های پایدا تبدیل می‌شوند. این گونه تغییرات، به صورت خود به خود رخ می‌دهد. بیشـتر ایزوتوپ‌هایی که اکنون در طبیعت وجود دارند، ایزوتوپ‌های پایدار اند.

اما در هنگام تشـکیل منظومهٔ آفتـاب (در حدود 4 میلیارد سال قبل) تعداد ایزوتوپ‌های ناپایدار موجود در زمین، بیشـتر از تعداد کنونی آن‌ها بوده است. در واقع بسـیاری از آن ایزوتوپ‌ها در طول زمان، در اثر متلاشی شـدن، به عنصرهای دیگر تبدیل شده اند. متلاشی شدن بر خی از ایزتوپ‌ها بسیار سریع است. در حالی که متلاشـی شـدن برخی دیگـر به قدری بطی و کند است که تعدادی از آن‌ها از آغاز پیدایش زمیـن تا کنـون هم به طور کامل از بیـن نرفته اند. عدد اتومی‌عنصرهایی که در طبیعت وجود دارند، در محدودهٔ $1 \leq Z \leq 92$ و عدد نیوترونی آن در محدودهٔ $0 < N \leq 146$ قرار دارد. N و Z هسته‌های طبیعی در شکل (3-6) نشان داده شده است.



شکل (3-6)



فعالیت

با توجه به شکل قبلی و مباحثه با گروپ خود، به سوال‌های زیر جواب بدهید.

a. خط راست (خط نقط چنین) به چه مقدارهایی از ذرات N ، Z و A مربوط می‌شود.

b. آیا نسـبت تعداد نیوترون بر تعداد پروتون برای هسته‌های پایدار مختلف ثابت است یا تغییر می‌کند؟ اگر تغییر می‌کند، این تغییر چگونه است؟

c. ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر را چگونه می‌توان با استفاده از شکل تشخیص داد؟

تمام عنصرهایی که نمبر اتومی آن‌ها بزرگ‌تر از $Z = 83$ است، ناپایدار اند. این عنصرها به تدریج از کرهٔ زمین ناپدید می‌شوند. رادیوم، توریوم و یورانیم از جملهٔ این عنصرها هستند. ایزوتوپ‌های ناپایدار را می‌توان در ریاکتورهای هسته‌یی به طور مصنوعی تولید کرد. علاوه بر این، ذره‌های پرانرژی فضایی هم که به آن‌ها اشعهٔ کیهانی می‌گویند، هنگام رسیدن به زمین و برخورد با هسته‌های پایدار، به صورت ناپایدار درمی‌آیند.



سوالات

1. چطور هسته ناپایدار می‌گردد؟
2. معلومات خویش را در مورد N و Z هسته‌های طبیعی با هم درمیان بگذارید و نتیجه بگیرید.

6-2-1: انرژی بسته‌گی هسته

اندازه‌گیری دقیق کتلهٔ هسته، نشان داده است که کتلهٔ هسته از مجموع کتلهٔ ذرات تشکیل‌دهندهٔ آن کمتر است. یعنی اگر کتلهٔ هسته را با M_x نشان دهیم، داریم:

$$M_x =< ZM_P + NMn......(2)$$

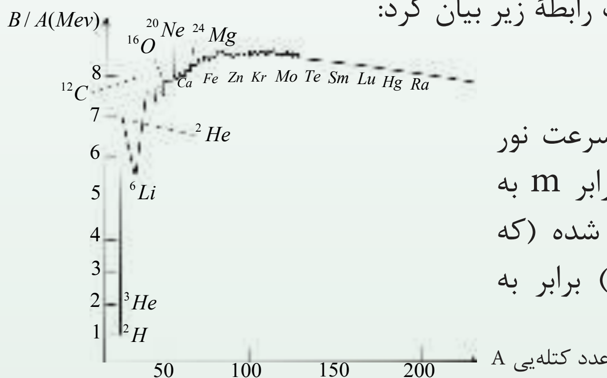
اگر این اختلاف کتله را ΔM بنامیم، پس: $\Delta M = (ZM_P + NMn) - M_x$ بوده و می‌توانیم بنویسیم:

$$M_x = (ZM_P + NMn) - \Delta M ......(3)$$

حال سوال می‌شود که این اختلاف کتله به چه دلیل وجود دارد و کتلهٔ کم شده کجا رفته است؟ جواب این سوال را نظریهٔ نسبیت انشتین می‌دهد. بنا بر نظر یهٔ انشتین، کتله و انرژی شکل‌های مختلفی از یک کیمت فزیکی اند، بنا بر این می‌توانند تحت شرایطی به یک‌دیگر تبدیل شوند. وی نظریهٔ خود را به صورت رابطهٔ زیر بیان کرد:

$$E = mc^2......(4)$$

در این رابطه E انرژی، m کتله و c سرعت نور است. براساس این رابطه اگر کتله‌یی برابر m به انرژی تبدیل شود، مقدار انرژی ایجاد شده (که انرژی معادل آن کتله نامیده می‌شود) برابر به $E = mc^2$ خواهد بود.



شکل (6-4)



سؤال

انرژی معادل کتلهٔ یک پروتون را بر حسب ژول و الکترون ولت حساب کنید.

حل: برای کتلهٔ پروتون داریم:

$$m = M_p = 1.67\times10^{-27}\ kg$$

$$c = 3\times10^{8}\ m/s$$

پس $$E = mc^2 = (1.67\times10^{-27} kg)(3\ .3\times10^{8}\ m/s)^2$$

$$E = 1.503 \times 10^{-10} J$$

با توجه به آن که یک ژول برابر به 6.25×10^{18} الکترون ولت است داریم:

$$E = 1.503\times10^{-10}\times6.25\times10^{18} ev = 939.375\times10^{6} ev$$

بنا بر نظریهٔ نسبیت و با توجه به رابطهٔ انشتین، دو اصل تحفظ کتله و تحفظ انرژی، در یک اصل به صورت زیر بیان می‌شود:

مجموع تمام کتله و انرژی در تأثیرات متقابل ثابت می‌ماند.

واضح است که در محاسبهٔ این مجموع، باید کتله را برحسب انرژی معادل آن در نظر بگیریم. اکنون می‌توانیم جواب این سوال که اختلاف کتله بین هسته و ذرات موجود در آن (ΔM) کجا رفته است را این طور توضیح دهیم که این تفاوت کتله به انرژی تبدیل شده است. به عبارت دیگر، هنگامی‌که ذرات در هسته گرد هم آمده اند، مقداری انرژی از دست داده اند که اندازهٔ این انرژی از رابطهٔ زیر که آن را انرژی بسته‌گی هسته‌یی می‌نامند و با B نشان می‌دهند، به‌دست می‌آید.

$$B = \Delta Mc^2 ....(5)$$

اگر بخواهیم ذرات تشکیل دهندهٔ هسته را از یک‌دیگر دور کنیم، باید مقدار انرژی برابر با انرژی بسته‌گی هسته، به هسته بدهیم. هر چه انرژی بسته‌گی یک هسته بیش‌تر باشد، آن هسته پایدارتر است. با توجه به مطالب بالا می‌توانیم بنویسیم:

$$B = (ZM_P + NMn - M_x)c^2 ....(6)$$

انرژی بسته‌گی هسته را به طور معمول بر حسب *Mev* (میگا الکترون ولت) که برابر با $10^6 ev$ است حساب می‌کنند.

مثال: هستهٔ اتوم دوتریوم، یک پروتون و یک نیوترون دارد. این هسته که دوتریوم نامیده می‌شود، کتله‌یی برابر به $3{,}34\cdot10^{-27} Kg$ دارد، انرژی بسته‌گی دوتریوم را محاسبه کنید.

حل: با استفاده از رابطهٔ $B=(ZM_p+NM_n-M_x)c^2$ داریم:

$$B=(1,67\cdot10^{-27}+1,68\cdot10^{-27}-3,34\cdot10^{-27})\times(3\cdot10^8)^2$$

$$B=0,01\cdot10^{-27}\cdot9\cdot10^{16}=9\cdot10^{-13}J$$

چون:

$$1J=6,25\cdot10^{18}ev$$

پس:

$$B=(9\cdot10^{-13}\cdot6,25\cdot10^{18})ev=56,25\cdot10^5ev=5,625Mev$$

6-2-2: **سطوح انرژی یا ترازهای انرژی هسته**

انرژی ذرات در هسته نیز مانند انرژی الکترون‌ها در اتوم، کوانتیده (تابنده) است. ولی اختلاف بین سطوح انرژی ذرات در هسته بسیار بیش‌تر از اختلاف بین سطوح انرژی الکترون‌ها در اتوم است. در درس‌های قبل دیدیم که اختلاف ترازهای انرژی الکترون‌ها دراتوم در حدود چند الکترون ولت است. در حالی‌که اختلاف بین ترازهای انرژی ذرات در هسته‌های سنگین به طور معمول درحدود ده‌ها کیلو الکترون ولت (Kev) یا بیش تر از آن است.

همان گونه که الکترون‌ها در اتوم می‌توانند با جذب فوتون‌ها و دریافت انرژی برابر با اختلاف انرژی بین دو سطح، به سطح بالاتر بروند و در نتیجه اتوم برانگیخته شود، ذرات هسته هم می‌توانند با دریافت انرژی از نیوترون‌ها یا پروتون‌های پرانرژی به سطح بالاتر بروند و هسته برانگیخته شود. هستهٔ برانگیخته شده نیز مانند اتوم برانگیخته شده، می‌تواند با خروج فوتون به حالت پایه باز گردد. انرژی فوتون گسیل شده از هستهٔ برانگیخته، برابر به اختلاف انرژی بین تراز ذرات برانگیخته و تراز پایهٔ آن است. یک هستهٔ برانگیخته شده را با علامهٔ ${}_Z^AX$ نمایش می‌دهند. این علامه نمایان‌گر حالت برانگیختهٔ هسته است.



فعالیت

با استفاده از طیف موج‌های الکترومقناطیسی در فصل قبلی، نوع تشعشع گسیل شده از هسته‌ها را مشخص کنید.

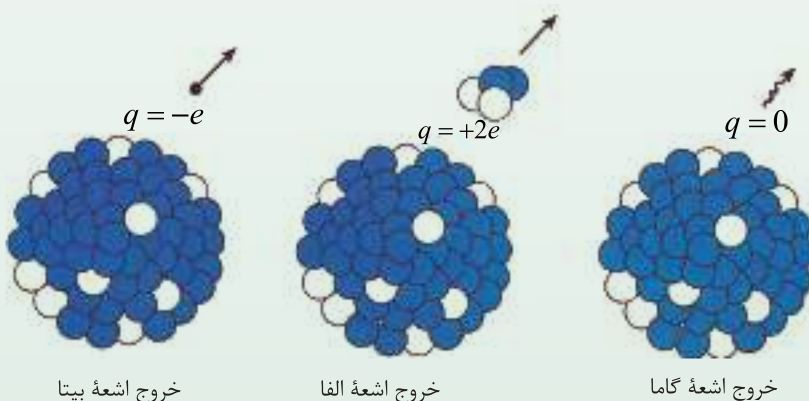
با توجه به خوبی‌های مودل اتومی‌بور، می‌دانیم که اگر به الکترون، انرژی‌یی بیش از انرژی بسته‌گی آن به اتوم داده شود، الکترون از اتوم جدا می‌شود. همین طور در هسته نیز اگر به ذرات هسته انرژی‌یی بیش از انرژی بسته‌گی آن به هسته داده شود، آن ذرات می‌توانند از هسته جدا شوند.

انرژی تعاملات کیمیایی در حدود چند الکترون ولت است، به همین دلیل هستهٔ اتوم‌ها در تعاملات کیمیایی برانگیخته نمی‌شوند. بنا بر آن، هسته‌ها در تعاملات کیمیایی دخالت ندارند.

برای ثبات انرژی در تعاملات هسته‌یی، تأکید بر تبادلات هسته‌ها و ذرات شده بود؛ اما این تعاملات خاصیت دیگری نیز دارند که دارای اهمیت است و آن عبارت از جذب یا آزاد کردن انرژی است. می‌دانید که در بعضی از تعاملات کیمیایی، باید انرژی لازم از خارج تأمین گردد تا تعامل ادامه یابد؛ در حالی‌که در بعضی تعاملات دیگر، انرژی آزاد می‌شود. تشکیل آب از اکسیجن و هایدروجن، نمونه‌یی از تعاملی است که در آن انرژی آزاد می‌شود. تعامل بین این دو گاز به طور معمول شدید است و حرارت حاصل می‌شود. بنا بر این، انرژی آبی‌یی که تشکیل می‌شود، کم‌تر از انرژی موادی است که آب را به وجود می‌آورند. از طرف دیگر، وقتی آب به وسیلهٔ الکترولیز تجزیه می‌شود، از عبور جریان برقی از آب، انرژی برقی فراهم می‌گردد، و محصولات تعامل یعنی اکسیجن و هایدروجن آزاد شده، انرژی بیشتری نسبت به آب دارند. تعاملات هسته‌یی نیز ممکن است انرژی جذب یا آزاد کنند، یک دلیل عمدهٔ قابل توجه در تعاملات هسته‌یی این واقعیت است که مقدار انرژی جذب شده یا آزاد شده در برابر هر هستهٔ درگیر در تعامل با ضریبی در حدود یک میلیون چند یا بزرگ‌تر، بیشتر از مقدار انرژی جذب شده یا آزاد شده در برابر هر اتوم درگیر در تعامل کیمیایی است. انشقاق هسته‌یی و پیوند تعاملات هسته‌یی (که بعدها در این بخش مورد بحث قرار می‌گیرد) دو نوع خاص از تعاملات هسته‌یی اند که در آن‌ها رهایی انرژی، فوق العاده زیاد است. بنا بر آن، این نوع تعاملات در کاربردهای صنعتی و نظامی‌اهمیت به‌سزایی دارند.

6-3: **رادیواکتیف طبیعی**

تا حال دانستیم که وقتی نوکلیون‌ها (Nuclions) برای تشکیل ثبات در هسته با هم‌دیگر اتصال پیدا می‌کنند، چه چیز به و قوع می‌پیوندد. تمام هسته‌ها با ثبات نیستند. در حدود 400 هستهٔ با ثبات و صدها هستهٔ بی‌ثبات وجود دارند که میل دارند بشکنند و به ذرات دیگر تبدیل شوند، که مراحل شکستن هسته‌ها را متلاشی شدن هسته (Nuclear decay) می‌گویند. جریان متلاشی شدن هسته می‌تواند یک حادثهٔ طبیعی باشد و یا این‌که به شکل مصنوعی و اجباری صورت پذیرد. در هر دو حالت، وقتی یک هسته متلاشی می‌شود، در نتیجه آن تشعشعات به اشکال ذره‌ها، فوتون‌ها و یا هر دو می‌تواند از هستهٔ مذکور بتابد که همین عملیه تابش ذره‌ها و فوتون‌ها به‌نام تشعشع(Radiation) و مراحل و یا جریان عملیهٔ تشعشع به‌نام رادیواکتیفیتی (Radioactivity) یاد می‌شود. به‌طور مثال عقربه‌ها و شماره‌های ساعتی که در تاریکی روشنی می‌دهد، دارای مقدار کمی‌نمک‌های رادیوم است. در اثر متلاشی شدن هسته در این نمک‌ها، انرژی نوری آزاد شده و سبب می‌شود که ساعت در تاریکی بدرخشد. هسته قبل از متلاشی شدن به‌نام هستهٔ اصلی و یا هستهٔ مادر، و هستهٔ باقی‌مانده بعد از متلاشی شدن به‌نام هستهٔ دختر یا نوزاد یاد می‌شود.



شکل (6-5)

در تمام تعاملات هسته‌یی انرژی آزاد شده از معادلهٔ $E = mc^2$ به‌دست می‌آید.
همهٔ عنصرهای سنگین‌تر از هایدروجن و هلیوم به اثر انفجار هسته، در قسمت داخلی ستاره‌گان تولید شده‌اند. این نوع انفجارها نه تنها عنصرهای پایدار، بلکه عنصرهای رادیواکتیف را نیز به وجود آورده اند. نیم عمر بیشتر عنصرهای رادیواکتیف درحدود مرتبهٔ روز یا سال است که از عمر زمین (حدود 4.5×10^9 سال) بسیار کوتاه‌تر است. بنابراین بیش‌تر عنصرهای رادیواکتیفیتی که در هنگام تشکیل زمین وجود داشته اند، به عنصرهای پایدار متلاشی شده‌اند. اما تعداد کمی‌از عنصرهای رادیواکتیف که در قدیم تولید شده‌اند؛ نیم عمرهایی در حدود عمر زمین دارند و هنوز هم می‌توان تشعشات رادیواکتیف را در آن‌ها مشاهده کرد. این عنصرها بخشی از عناصر رادیواکتیف طبیعی را می‌سازند که اطراف ما را احاطه کرده است. در پروسه‌های متلاشی شدن عناصر رادیواکتیف، عدد کتلهٔ اتومی، یک هستهٔ (A) را در صورت متلاشی شدن ($\propto$)، به چهار واحد تغییر می‌دهد و در صورت متلاشی شدن β و به وجود آمدن γ عدد کتلهٔ اتومی‌هسته تغییر نمی‌کند.

واحد تابش اشعه در سیتم (SI) بیکیورل ($Becquerel$) است که آن را به علامهٔ B_q نمایش می‌دهند. یک بیکیورل مساوی است به یک واحد تابش اشعه بر ثانیه $(1B_q = 1decay/s)$. کیوری (Curie) که به Ci نمایش داده می‌شود، واحد اصلی تابش بوده و تقریباً برابر با تابش اشعهٔ یک گرام رادیوم (Radium) متلاشی شده می‌باشد. $1\,Ci = 3.7 \times 10^{10}\,Bq$



سوال‌ها

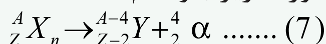
1. عنصرهای سنگین‌تر از هایدروجن و هلیوم در کجا و چطور تولید شده‌اند؟
2. طول نیم عمر عنصرهای رادیواکتیف به چه اندازه از عمر زمین کم‌تر است؟
3. در اثر متلاشی شدن (α)، عدد کتلهٔ اتومی(A) یک هسته را به چند واحد تغییر می‌دهد؟

علاوه بر آنچه گفته شد، همان‌طوری‌که دیدیم یکی از ویژه‌گی‌های بارز هسته‌های ناپایدار، متلاشی شدن خود به خودی آن‌ها به هسته‌های سبک‌تر است که با گذشت زمان، متلاشی و به هستهٔ‌های سبک‌تر تبدیل می‌شوند. در این پروسه (روش) Z و N هسته‌ها از مقدار اولی به مقدار کم‌تر تبدیل می‌شوند. روش متلاشی شدن هسته‌های ناپایدار، همواره باخارج شدن اشعهٔ رادیواکتیف همراه است.

علاوه بر هسته‌های ناپایدار، هسته‌های برانگیخته نیز با گسیل اشعه، متلاشی می‌شوند. به طور کلی این نوع هسته‌ها را، هسته‌های رادیواکتیف می‌نامند. یک مادهٔ رادیواکتیف می‌تواند سه نوع تشعشع را از خود بتاباند، یعنی هسته‌های ناپایدار به سه نوع متفاوت متلاشی می‌شوند که در نتیجهٔ آن Z و N هسته را تغییر داده و به هسته‌های دیگر عوض می‌شوند. این سه نوع عبارت اند از متلاشی شدن ذرهٔ الفا ($\propto$)، متلاشی شدن ذرهٔ بیتا (β) و نیز خارج ساختن فوتون‌هایی که اشعهٔ گاما (γ) نامیده می‌شوند توسط هسته‌های اصلی، که در ادامهٔ بحث به تحقیق هر یک از این سه نوع ذرهٔ متلاشی شده می‌پردازیم.

6-4: متلاشی شدن همراه با خروج اشعهٔ الفا ($\propto$)

اشعهٔ α، همان هستهٔ هیلیوم ($^{4}_{2}He$) است، که از دو پروتون و دو نیوترون تشکیل شده است. یعنی با گسیل اشعهٔ الفا، با توجه به آن که اشعهٔ α خود دارای عدد اتومی‌برابر 2 و عدد نیوترونی برابر به 2 است، 2 واحد از نمبر اتومی‌و 4 واحداز عدد کتلهٔ هستهٔ ناپایدار کاسته می‌شود. این تعامل را می‌توانیم به صورت زیر بنویسیم:

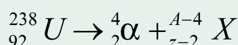


$$^{A}_{Z}X_n \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}\alpha \;\; .... (7)$$

یعنی محصول این متلاشی شدن، هستهٔ یک عنصر جدید است. پروسهٔ متلاشی شدن الفا با آزادسازی انرژی همراه است. زیرا انرژی اتصالی محصول‌های عملیهٔ متلاشی شدن، قوی‌تر از انرژی اتصالی هستهٔ اولیه است. انرژی آزاد شده در این پروسه، به صورت انرژی حرکی ذرهٔ الفا و هستهٔ Y ظاهر می‌شود.

مثال: با متلاشی شدن هستهٔ یورانیوم 238 $\left(^{238}_{92}U\right)$، یک ذرهٔ الفا (α) خارج می‌شود. معادلهٔ این تعامل را بنویسید و تعیین کنید که در اثر این متلاشی شدن چه عنصری ایجاد می‌شود؟

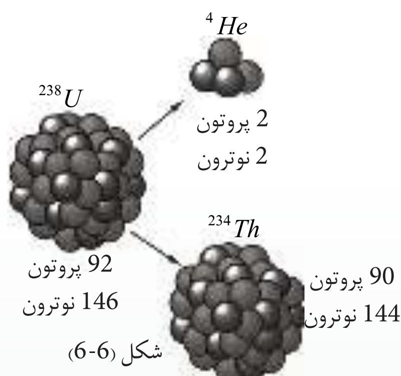
حل: معادلهٔ متلاشی شدن به صورت زیر است:



$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{4}_{2}\alpha + ^{A-4}_{z-2}X$$

با استفاده از قاعدهٔ دوم یعنی برابری مجموع عددهای کتلهٔ اتومی‌در دو طرف تعامل داریم:

$$238 = 4 + A \rightarrow A = 234$$

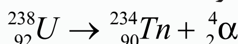


شکل (6-6)

و از برابری مجموع نمبرهای اتومی‌در دو طرف داریم:

$$92 = 2 + Z \rightarrow Z = 90$$

با مراجعه به جدول تناوبی معلوم می‌شود که $^{238}_{90}X$، عنصر شماره 90 یعنی توریوم است. بنابراین، تعامل بالا به صورت زیر نوشته می‌شود:



$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Tn + {}^{4}_{2}\alpha$$

تمرین:

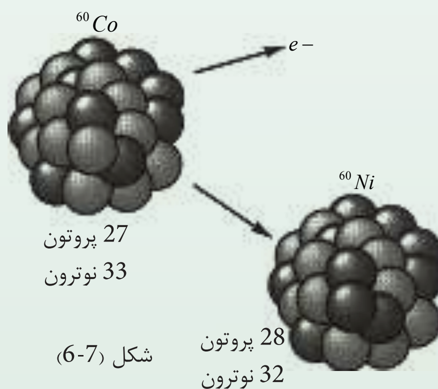
رادون ($^{226}_{86}Rn$) یک عنصر رادیواکتیف است که اشعهٔ الفا خارج می‌کند. معادلهٔ این تعامل را بنویسید و عنصر تولید شده را تعیین کنید.

فکر کنید

خروج الکترون از هسته، متلاشی شدنی بسیار حیرت انگیز است؛ زیرا هستهٔ اتوم الکترون ندارد که خارج کند. لذا این سوال مطرح می‌شود که این الکترون از کجا آمده است؟

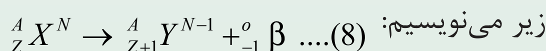
6-5: متلاشی شدن همراه با خروج اشعهٔ بیتا β

متلاشی شدن بیتا، نخستین مورد رادیواکتیفیتی بود که بیکیورل مشاهده کرد. در این متلاشی شدن، یک نیوترون در هسته به یک پروتون تبدیل می‌شود. Z و N هر کدام یک واحد تغییر می‌کند، اما در A تغییری پدید نمی‌آید. وقتی این متلاشی شدن برای اولین بار مطالعه می‌شد، ذرات خروجی را ذرات بیتا β نامیدند. بعدها معلوم شد که این ذرات، الکترون‌ها اند. متلاشی شدن بیتا یعنی خارج شدن الکترون از هسته، بسیار تعجب‌آور است.



شکل (6-7)

زیرا همان طور که پیش از این دیدیم، الکترون در هستهٔ اتوم وجود ندارد. الکترون خارج شده در متلاشی شدن β، یکی از الکترون‌های مداری اتوم نیست، این الکترون را هسته با انرژی موجود در خودش می‌سازد، از این رو، خروج اشعهٔ بیتا به این دلیل است که یک نیوترون در هسته به یک پروتون تبدیل می‌شود، که این تعامل را به صورت زیر می‌نویسیم:

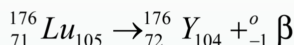


$$^{A}_{Z}X^{N} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y^{N-1} + {}^{o}_{-1}\beta \quad ....(8)$$

محصول متلاشی شدن بیتا β، عنصر جدیدی است که در جدول تناوبی بلافاصله بعد از عنصر X قرار دارد.

مثال: لیتوم ($^{176}_{71}Lu$) عنصر رادیواکتیف است که با خروج ذرهٔ بیتای منفی (β −) متلاشی می‌شود. معادلهٔ امکان تعامل را بنویسید و عنصر جدیدی را که تولید می‌شود، تعیین کنید.

جواب: به‌رویت معادلهٔ ($^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{o}_{-1}\beta$) می‌توانیم بنویسیم:



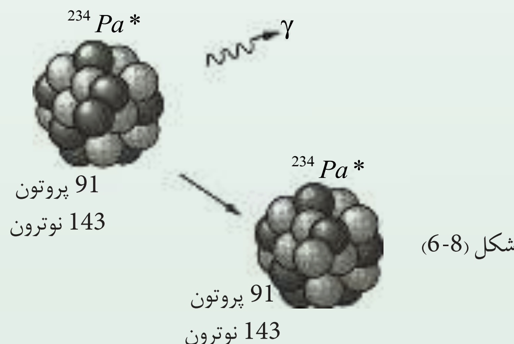
$$^{176}_{71}Lu_{105} \rightarrow {}^{176}_{72}Y_{104} + {}^{o}_{-1}\beta$$

تمرین:

فاسفورس ($^{32}_{15}P$)، عنصر رادیواکتیف است که ذرهٔ β خارج می‌کند، معادلهٔ عکس‌العمل مربوط را بنویسید و تعیین کنید در این متلاشی شدن چه عنصری تولید می‌شود؟

6-6: متلاشی شدن اشعهٔ گاما (γ)

هرگاه هستهٔ اتومی در حالت برانگیخته شده قرار داشته باشد، با خروج یک یا چند فوتون که به آن‌ها اشعهٔ گامای هسته‌یی می‌گویند، به حالت استقرار (ثابت) می‌رسد، که این روش روش متلاشی شدن گاما نامیده می‌شود؛ یعنی با خروج اشعهٔ گاما نه عدد کتله‌یی تغییر می‌کند و نه نمبر اتومی، بلکه هسته تنها مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهد. تعامل خروج اشعهٔ گاما را با معادلهٔ زیر نمایش می‌دهیم: $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$ ....(9)



شکل (6-8)

معادلات (7)، (8) و (9) از دو قاعدهٔ زیر پیروی می‌کنند:

1. مجموع نمبرهای اتومی Z در دو طرف تعامل یکسان است.

2. مجموع عددهای کتله‌یی A در دو طرف تعامل یکسان است.

این دو قاعده در تمام تعامل‌های هسته‌یی قابل تطبیق می‌باشد.



فعالیت

با بحث در گروپ خود مشــخص کنید که کدام یک از دو قاعدهٔ فوق از تحفظ (ثبات و یا پایش) چارج برقی نتیجه می‌شود؟

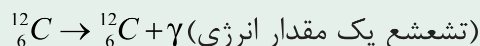
جدول خلاصهٔ تشعشعات الفا، بیتا و گاما

ذره	سمبول	ترکیب	چارج	تأثیر بالای هستهٔ مادر
الفا	$\alpha\left({}_{2}^{4}He\right)$	2 پروتون 2 نیوترون	$+2$	کاهش کتله تولید عنصر جدید
بیتا	$\beta\left({}_{-1}^{0}e\right)$	الکترون پوزیترون	-1 $+$	عدم تغییر در عدد کتله‌یی تولید عنصر جدید
گاما	(γ)	فوتون	0	باخت انرژی

مثال:

در یک حالت برانگیخته شدن، کاربن 12 $\left({}_{6}^{12}C\right)$، با خروج اشعهٔ گاما، $4{,}43Mev$ انرژی باخته به حالت ثبات می‌رود. معادلهٔ تعامل این متلاشی شدن را بنویسید.

جواب: با توجه به آنچه دربارهٔ متلاشی شدن گاما دیدیم، تعامل را می‌توان نوشت:



$${}_{6}^{12}C \rightarrow {}_{6}^{12}C + \gamma \text{ (تشعشع یک مقدار انرژی)}$$

تمرین: پروتاکتیوم 91 $\left({}_{91}^{234}Pa\right)$ اشعه‌یی با انرژی $92Kev$ را گسیل می‌کند. معادلهٔ این تعامل را بنویسید.



سوالات

1. اشعهٔ الفا $(\propto)$ مربوط به کدام عنصر است؟

a – هایدروجن b – نایتروجن c- هلیوم d – یورانیم

2. ذرهٔ (اشعهٔ) بیتا از جنس (   ) است.

3. اشعهٔ گاما از کدام نوع موج است و چطور؟

4. دو مادهٔ رادیواکتیف که خاصیت رادیواکتیف در هر دو یکسان است، دارای نیمهٔ عمر متفاوت اند. در کدام یک از این دو ماده، شدت تابش اشعهٔ رادیواکتیف بیشتر است؟

5. آیا می‌توان با استفاده از خاصیت جذب اشعهٔ گاما (γ)، یک‌نواخت بودن ضخامت ورقه‌های فلزی را کنترول کرد؟ چگونه، توضیح دهید.

6. چه را بطه‌یی بین نمبر اتومیو تعداد الکترون‌های مداری اتوم برقرار است؟

6-7-1: نیم عمر مادهٔ رادیواکتیف

در یک قطعه از مادهٔ رادیواکتیف تعداد بسیار زیادی هستهٔ رادیواکتیف وجود دارد. این هسته‌ها با گذشت زمان به تدریج تغییر می‌کنند. هر چه زمان بگذرد، تعداد هسته‌های مادهٔ رادیواکتیف اولی باقی‌مانده کمتر می‌شود که چگونه‌گی این تغییرات را می‌توانیم با معر فی کمیتی به نام نیم عمر بیان کنیم.

بنا بر تعریف :نیم عمر یک مادهٔ رادیواکتیف، مدت زمانی است که طی آن نیمی‌از هسته‌های رادیواکتیف موجود در آن متلاشی (Decay) می‌شوند. نیم عمر را با $t=\frac{1}{2}T$ نشان می‌دهند.

به طور نمونه، در سؤال فوق دیدیم که هسته‌های یورانیم238 با گسیل ذرهٔ الفا به هسته‌های توریوم 234 تبدیل می‌شوند. محاسبات بر اساس تجربه نشان می‌دهد که در یک قطعه یورانیم، $4{,}5\cdot10^9$ سال طول می‌کشد که نیمی‌از هسته‌های آن به هستهٔ توریوم تبدیل شوند. به این ترتیب می‌گوییم که نیم عمر یورانیم، $4{,}5\cdot10^9$ سال است. از آن جا که این نیم عمر از عمر زمین بیشتر است، هنوز هم مقدار قابل ملاحظهٔیی یورانیم 238 در طبیعت وجود دارد. دیدیم که نیم عمر یورانیم238 بسیار طولانی است. ولی نیم عمر برخی دیگر از ایزوتوپ‌های آن تنها در حدود چند دقیقه است. به همین دلیل این نوع ایزوتوپ‌ها در طبیعت یافت نمی‌شود.

مثال:

کوبالت 60 به عنوان منبع تولید اشعهٔ گاما (γ) در صنایع مختلف به کار برده می‌شود. این ایزوتوپ که می‌توان آن را در ریاکتورهای تحقیقاتی تولید کرد، دارای نیم عمر 5,25 سال است. پس از 26 سال چه کسری از هسته‌های کوبالت 60 در نمونهٔ اولیه باقی خواهد ماند؟

حل: 26 سال تقریباً 5 برابر نیم عمر کوبالت 60 است، زیرا:

$$26 \div 5{,}25 = 4{,}95 = 5$$

پس اگر مقدار m گرام کوبالت 60 در نمونهٔ اولیه وجود داشته باشد، پس از گذشت هر نیم عمر مقدار آن نصف می‌شود که می‌توانیم آن را در جدول ذیل تنظیم کنیم.

تعداد نیم عمرها	0	1	2	3	4	5
مقدار باقی مانده ازکوبالت60	m	$\frac{m}{2}$	$\frac{m}{2}\times\frac{1}{2}=\frac{m}{4}$	$\frac{m}{4}\times\frac{1}{2}=\frac{m}{8}$	$\frac{m}{16}$	$\frac{m}{32}$

بنابراین پس از 26 سال یعنی گذشت 5 نیم عمر، تنها کسری برابر به $\frac{1}{32}$ یا حدود 3 درصد ($\frac{1}{32}=0{,}03{,}52$) از مقدار اولیهٔ کوبالت (m گرام)، باقی می‌ماند و 97 درصد دیگر آن متلاشی می‌شود.

6-7-2: **حفاظت در برابر اشعه**

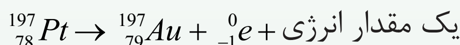
اشعهٔ کیهانی و اشعه‌یی که از مواد رادیواکتیف خارج می‌شوند، در برخورد با اتوم‌ها و مالیکول‌ها می‌توانند آن‌ها را به آیون تبدیل کنند و یا موجب شکسته شدن پیوندهای کیمیایی شوند. این پروسه به گونهٔ اغلب منجر به تخریب ساختار ماده می‌شود و به اجسام زنده آسیب می‌رساند؛ به طور مثال: فوتون‌های ماورای بنفشی که از نور آفتاب به بدن می‌رسند، به مالیکول‌های پوست آسیب می‌رسانند و باعث آفتاب سوخته‌گی می‌شوند. اشعهٔ پرقدرتی مانند اشعهٔ x و ذرات بسیار سریع، حتا می‌توانند از سطح پوست بگذرند و به بدن صدمه برسانند. چنان‌چه از همین خاصیت برای تخریب و از میان بردن غده‌های سرطانی از اشعهٔ x و γ استفاده می‌کنند.

این اشعه به تشکل اعضای نوزادان آسیب می‌رساند و حتا باعث تشکل غیرمنظم اعضای شان می گردد.
اتوم‌های ذرات رادیواکتیف، در سنگ، خاک، چوب و در محل کار و زنده‌گی ما وجود دارند. علاوه بر آن اشعهٔ کیهانی، یعنی ذره‌های پرانرژی‌یی که از فضای خارج از جو زمین به کرهٔ زمین می‌رسند، از منابع اجتناب ناپذیر این اشعهٔ خطرناک هستند.

3-7-6: **رادیواکتیفیتی مصنوعی** (*Artificial Radio activity*)

بحث تعاملات هستهٔیی، حاکی از کشف جالب دیگری نیز بوده است: می‌دانیم که تعامل یک نیوترون به وسیلهٔ پلاتین 196، به تولید پلاتین 197 و پخش یک اشعهٔ γ می‌انجامد. در طبیعت شش ایزوتوپ متفاوت از پلاتین یافت شده است.

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که: آیا پلاتین 197 که با تعامل نیوترون تولید می‌شود پایدار است؟ پاسخ منفی است، زیرا این محصول رادیواکتیف است و با پخش یک ذرهٔ β با طلای 197 (تنها ایزوتوپ پایدار طلا) از بین می‌رود.



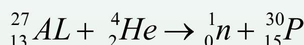
$$^{197}_{78}Pt \rightarrow {}^{197}_{79}Au + {}^{0}_{-1}e + \text{یک مقدار انرژی}$$

باید گفت که نیم عمر پلاتین 197، 20 ساعت است.
تولید پلاتین 197 (رادیواکتیف) در یک تعامل هسته‌یی، نمونه‌یی از رادیواکتیف مصنوعی است. این پدیده در سال 1934 به وسیلهٔ ایرن کیوری وف. ژولیو کشف شد. آن‌ها آثار ذرات α را بر هسته‌های فلزات سبک بررسی می‌کردند. وقتی آنان عناصر مگنیزیم و المونیم را با ذرات الفای حاصل از پلوتونیم بمباران کردند، دیدند بلافاصله پروتون‌ها و نیوترون‌هایی از هستهٔ بمباران شده بیرون می‌افتد. اما شاهد آن بودند که علاوه بر این ذرات، الکترون‌های مثبت یا پوزیترون‌ها نیز پخش می‌شود. (پوزیترون ذره‌یی است که کتلهٔ آن برابر با کتلهٔ الکترون و بزرگی چارج آن برابر با بزرگی چارج الکترون می‌باشد، ولی چارج آن مثبت است). پوزیترون را فزیکدان امریکایی ک. د. آندرسن در سال 1932 در جریان مطالعهٔ شعاع کیهانی کشف کرد. (شعاع کیهانی تابش‌های بسیار نفوذ کننده‌یی است که منشای آن در ماورای هوای زمین بوده و مرکب از پروتون‌ها، الکترون‌ها، نیوترون‌ها، فوتون‌ها و دیگر ذرات می‌باشد.)

اندرسن با استفاده از یک اتاق کوچک که در یک ساحهٔ مقناطیسی قرار گرفته بود، خطوطی را مشاهده کرد که فقط می‌توانست در طول مسیر به اثر ایونایز شدن (برقی شدن)، ذراتی با سرعت زیاد و با کتله و اندازهٔ چارج برابر با کتله و چارج یک الکترون، لیکن انحنای خطوط آن‌ها در جهت مخالف با خطوط الکترونهایی که چارج منفی داشته باشند، ایجاد شوند. به این ذرات نام پوزیترون (با سمبول β^+ یا ${}^{0}_{1}e$) داده شد.

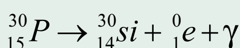
در آزمایش ژولیووکیوری که بر اثر بمباران یک عنصر سبک با یک ذرهٔ α پوزیترون همراه با نیوترون تولید می‌شد، چنین به نظر می‌رسید که نوع جدیدی تعامل هسته‌یی صورت می‌گیرد. آزمایش‌های بیشتر بالاخره نشان داد که هسته‌های عنصر سبک، حتا پس از آن‌که از منبع ذرات α هم دور شوند، به پخش پوزیترون ادامه می‌دهند. وقتی، پس از دور ساختن منبع ذرات α، تغییر ثابت پخش پوزیترون‌ها برحسب گذشت زمان ترسیم شد، منحنی‌هایی برای هر هدف به‌دست آمد که شبیه به منحنی‌های به‌دست آمده برای رادیواکتیف بیتای طبیعی بود. (و معلوم شد که نیم عمر پوزیترون پخش شده 2.5 دقیقه است.)

نتایج حاصل شده نشان می‌داد که ذرات هستهٔ پایدار اولیه به ذرات هستهٔ رادیواکتیف تبدیل شده است. بمباران ${}^{27}_{13}AL$ با ذرات α که نیوترون و همچنین یک مادهٔ جدید رادیواکتیف تولید می‌شود، یک تعامل هسته‌یی است که ذرات هسته‌یی با عدد کتله‌یی $(27+4-1)=30$ و نمبر اتمی $(13+2-0)=15$ که ایزوتوپی از فاسفورس است، ایجاد می‌کند. این تعامل عبارت است از:



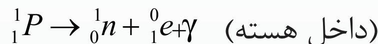
$${}^{27}_{13}AL + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{30}_{15}P$$

کیوری و ژولیو برای جدا سازی مواد حاصله شبیه همان تعاملاتی که برای جداسازی عناصر رادیواکتیف طبیعی انجام می‌دادند، تعاملات کیمیاوی را انجام دادند و به این وسیله نشان دادند که نتیجهٔ حاصله پس از بمباران، واقعاً شامل مقدار کمی‌فاسفورس و یا ایزوتوپی است که رادیواکتیف می‌باشد. فاسفورس در طبیعت فقط به صورت ${}^{31}_{15}P$ یافت می‌شود، هیچ ایزوتوپی از فاسفورس با عدد کتله‌یی 30 در طبیعت یافته نشده است. پس این فرض منطقی بود که چنان‌چه ${}^{30}P$ در یک تعامل هسته‌یی ایجاد شود، هسته پایدار نخواهد بود، بلکه رادیواکتیف است. اگر این هسته با پخش یک پوزیترون متلاشی شود، تعامل آن به طریق زیر بیان خواهد شد:



$${}^{30}_{15}P \rightarrow {}^{30}_{14}si + {}^{0}_{1}e + \gamma$$

در تعامل $^{30}_{14}si$ ایزوتوپ شناخته شده‌یی از سیلسیوم، $^{0}_{1}e$ نمایانگر یک پوزیترون و γ یک نوترینو است. این نوع متلاشی شدن حاکی از آن است که یک پروتون در داخل هسته ممکن است به یک نیوترون، یک پوزیترون و یک نوترینو تبدیل شده باشد که نیوترون در هسته باقی مانده و پوزیترون پخش شده است:



$$^{1}_{1}P \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{1}e + \gamma \quad \text{(داخل هسته)}$$

به طور خلاصه پس از این کشف، که بمباران ذرات هستهٔ سبک با ذرات α می‌تواند به محصولات رادیواکتیف منجر شود، معلوم شد که تعاملات هسته‌یی القا شده با پروتون‌ها، دوترون‌ها، نیوترون‌ها، فوتون‌ها نیز می‌توانند محصولات رادیواکتیف را تولید کنند.

ذرات هسته‌یی رادیواکتیف مصنوعی، مانند ذرات هسته‌یی رادیواکتیف طبیعی با نیم عمر و نوع اشعه‌یی که پخش می‌کنند، مشخص می‌شوند.

اگر محصولات تعاملات هسته‌یی رادیواکتیف باشند، می‌توان مسیر آن‌ها را در جریان جداسازی کیمیاوی به وسیلهٔ نیم عمرهای اختصاصی آن‌ها یا محصولات متلاشی شدن شان را تعیین کرد. (آن‌ها را از لحاظ کیمیایی نمی‌توان دنبال کرد، زیرا مقدارشان بسیار کم و غالباً کمتر از یک میلیونم گرام است). ولی توسط شاخهٔ خاصی از کیمیا که با جداسازی و تشخیص محصولات رادیواکتیف در تعاملات هسته‌یی سروکار دارد، که امروزه بخش مهمی‌از علم هسته‌یی شده است. این رشته به حدی توسعه یافته که از سال 1935 تاکنون در حدود 1200 ذرهٔ هستهٔ مصنوعی رادیواکتیف ساخته و مشخص شده است که بسیاری از آن‌ها در صنعت و تحقیقات مورد استعمال دارد.



فکر کنید

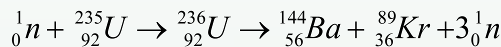
گاهی گفته می‌شود که تمام منابع از انرژی هسته حاصل شده اند. آیا سوخت‌هایی مانند ذغال سنگ و نفت هم از انرژی هسته‌یی به دست آمده اند؟

6-8: **انشقاق هسته‌یی** (*Nuclear Fission*)

طوری‌که دیدیم، یک هسته می‌تواند با پخش کردن اشعهٔ الفا یا بیتا به هستهٔ دیگری انشقاق شود. این انشقاق یا متلاشی شدن نوعی از تعامل هسته‌یی است که در ادامهٔ این بحث به شرح مختصر این تعامل، که یکی از منبع‌های مهم تولید انرژی است، می‌پردازیم.

هستهٔ یورانیم 235 دارای این ویژه‌گی است که اگر یک نیوترون به آن برخورد کند، احتمال زیاد می‌رود که آن‌را جذب کند و به یورانیم 236 تبدیل شود. یورانیم 236 ناپایدار است و تمایل زیادی به زوال و تجزیه به دو یا چند هسته با کتلهٔ کمتر دارد. پروسهٔ جذب نیوترون توسط یورانیم 235 و تشکیل هستهٔ سنگین‌تر پایدار و تجزیهٔ آن به دو یا چند هستهٔ سبک‌تر را متلاشی شدن و یا انشقاق هسته‌یی می‌نامند.

یکی از این پروسه‌های متلاشی شدن یورانیم 235 در شکل (9-6) نشان داده شده و معادلهٔ آن قرار ذیل است:

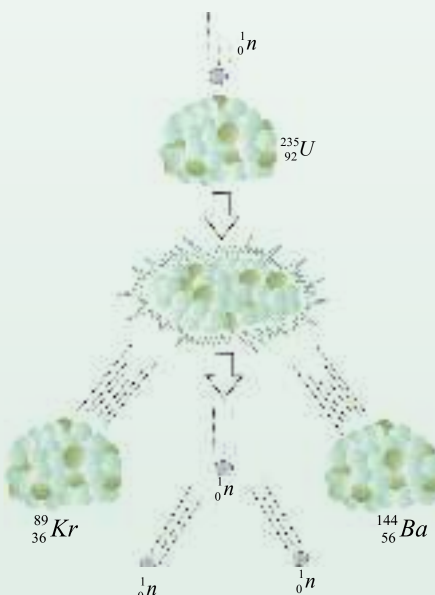


$$ {}_0^1n + {}_{92}^{235}U \rightarrow {}_{92}^{236}U \rightarrow {}_{56}^{144}Ba + {}_{36}^{89}Kr + 3{}_0^1n $$

در پروسهٔ تعامل هسته‌یی ${}^{235}U$ ممکن است مجموعه‌های گوناگون از محصولات متلاشی شده تولید شوند. به طور مثال در تعامل هسته‌یی یورانیم 235 حدود 90 محصول مختلف به‌دست می‌آید. هسته‌های حاصل شده از اثر متلاشی شدن را پارچه‌های متلاشی شده نیز می‌گویند. بدین ترتیب، انشقاق هسته‌یی را چنین می‌توان تعریف کرد:

«انشقاق هسته‌یی یک تعامل هسته‌یی است که طی آن یک هستهٔ سنگین به دو هسته با کتلهٔ کم‌تر متلاشی می‌شود».

وقتی یک هستهٔ سنگین متلاشی می‌گردد، کتله‌های حاصل متلاشی شده، از مجموع کتلهٔ اولیهٔ هسته و کتلهٔ نیوترون که با آن برخورد نموده، کمتر است. این تفاوت کتله به انرژی تبدیل می‌شود، که قسمت عمدهٔ این انرژی در آغاز به صورت انرژی جنبشی یا اهتزازی پارچه‌های متلاشی شده به ظهور می‌رسد و به سرعت انرژی خود را به محیط اطراف منتقل می‌کنند و در نهایت سبب افزایش بسیار زیاد درجهٔ حرارت محیط می‌شود؛ به طور مثال، مقدار انرژی آزاد شده در متلاشی شدن یورانیم 235 به اندازه‌یی زیاد است که انرژی حاصل از



شکل (9-6)

متلاشی شدن 1 کیلوگرام یورانیم 235 معادل انرژی حاصله از سوختن 10^7 کیلوگرام (ده هزار تن) ذغال سنگ و یا $2,25\cdot10^6$ لیتر نفت است. به همین لحاظ می‌توان از یورانیم به حیث یک منبع سرشار از انرژی استفاده کرد.

دستگاهی که در آن تعامل هسته‌یی صورت می‌گیرد و انرژی آزاد شده در پروسهٔ تعامل به شکل دیگر انرژی (مانند انرژی برقی) تبدیل می‌شود، ریکتور هسته‌یی نام دارد.

انرژی حاصل از تعامل هسته‌یی را به اختصار، انرژی هسته‌یی می‌نامند. استفاده از انرژی حاصل از تعامل هسته‌یی، نقاط ضعیف و مشکلاتی نیز دارد که باعث مخالفت بسیاری با تولید آن شده است.

این نقاط ضعیف از آن‌جا ناشی می‌شود که پارچه‌های متلاشی شده، خود به شدت ناپایدار هستند و برای رسیدن به حالت پایداری، مقدار زیادی اشعه پخش می‌کنند. علت ناپایداری هم آن است که هسته‌ها (پارچه‌های متلاشی شده) برای پایدار بودن به تعداد نیوترون کم‌تری نیاز دارند، و همین وجود نیوترون‌های اضافی است که باعث ناپایداری آن‌ها می‌شود و در نتیجه این هسته‌ها به اثر واپاشی بیتا به هسته‌های پایدارتر تبدیل می‌شوند.

بنابرین پارچه‌های متلاشی شده ناچار رادیواکتیف هستند. مشکل اساسی دیگر آن است که برخی از این پارچه‌های ناپایدار که پسمانده‌های متلاشی شده هستند، نیم عمر بسیار طولانی دارند و در نتیجهٔ انباشته شدن، تشعشعات آن‌ها مشکلات فراوانی را نه تنها برای نسل حاضر، بلکه برای نسل‌های بعدی به وجود می‌آورند.



فکر کنید

گاهی گفته می‌شود که «کتله را نمی‌توان تولید و یا نابود کرد»، این گفته را تحلیل کنید.

6-9: غنی سازی یورانیم

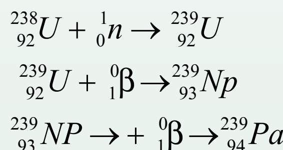
• یگانه عنصر طبیعی که با جذب نیوترون پس از زمان بسیار کوتاه $10^{-12}s$ متلاشی می‌شود و مقدار زیادی انرژی آزاد می‌کند، یورانیم 235 است.

• در یورانیم طبیعی تنها 0.7 در صد ^{236}U و بقیه یعنی 99.3 درصد آن ^{238}U است که برای تمام هدف‌های عملی، متلاشی‌پذیر نمی‌باشد.

• برای تهیهٔ سوخت ریکتور یا جنگ افزار هسته‌یی، باید غلظت ^{235}U به مقدار قابل ملاحظه‌یی افزایش یابد، که این پروسه را به نام غنی‌سازی یاد می‌کنند.

• ^{235}U و ^{238}U از لحاظ کیمیایی یک‌سان هستند، ولی در پروسهٔ غنی‌سازی تنها از اختلاف کتلهٔ آن‌ها بهره‌گیری می‌شود. این پروسه نسبتاً دشوار و پرمصرف است، اما می‌توان با مقدار زیاد یورانیم به آن دست یافت.

• یک مادهٔ دیگری‌که به آسانی متلاشی می‌شود، پلوتونیم 239 $\left({}^{239}_{94}pu\right)$ است. این ماده به صورت طبیعی وجود ندارد اما می‌توان آن را با تعامل نیوترون در ^{238}U که متلاشی‌پذیر نیست، تولید کرد. یورانیم 239 حاصل شده با پخش بیتا به نپتونیم 239 $\left({}^{239}_{93}Np\right)$ از بین رفته و با پخش بیتا به Pu^{239} متلاشی می‌شود. معادلهٔ تعامل این پروسه مانند ذیل است:



$$^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{239}_{92}U$$
$$^{239}_{92}U + {}^{0}_{1}\beta \rightarrow {}^{239}_{93}Np$$
$$^{239}_{93}NP \rightarrow + {}^{0}_{1}\beta \rightarrow {}^{239}_{94}Pa$$

• پلوتونیم را می‌توان با روش‌های کیمیاوی از یوارنیم جدا کرد. این پروسهٔ تولید سوخت پلوتونیم از یورانیم، به زاینده‌گی معروف است و ریکتوری را که برای تولید سوخت پلوتونیم طراحی شده است، زاینده می‌نامند. در بمب‌های متلاشی شده، به طور اغلب پلوتونیم نقش یک مادهٔ فعال را دارد.

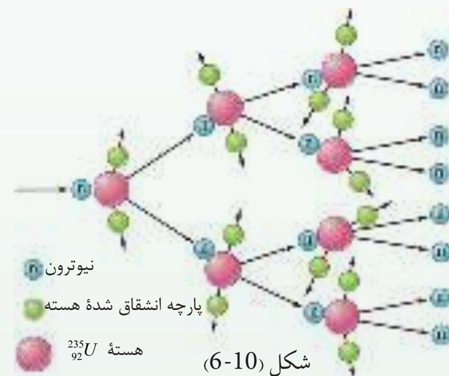
6-10: **تعامل زنجیری** (*Chain Reaction*)

برای آن‌که تعامل زنجیری در یک نمونهٔ یورانیم با سرعت یک‌نواخت ادامه یابد، باید توازن مناسبی بین تولید خالص نیوترون‌های حاصل از عمل متلاشی شدن و از دست رفتن نیوترون‌ها در جریان سه پروسهٔ زیر وجود داشته باشد:

1.جذب نیوترون به وسیلهٔ یوارنیم بدون صورت گرفتن انشقاق

2. جذب نیوترون به وسیلهٔ مواد موجود دیگر در دستگاه تجربی

3. فرار نیوترون از دستگاه تجربی بدون این‌که جذب شود.



شکل (6-10)

اگر نیوترون‌ها به حد بسیار زیادی فرار نمایند و در دستگاه (که ریکتور نامیده می‌شود) جذب شوند، نیوترون کافی باقی نمی‌ماند تا تعامل زنجیری ادامه یابد. برعکس، هرگاه نیوترون‌ها به حد بسیار کم فرار نمایند یا جذب شوند، تعامل ادامه می‌یابد و نیوترون‌های بیشتر و بیشتری می‌سازد. در طراحی ریکتورهای هسته‌یی که به حیث منبع انرژی به‌کار می‌روند، طرق مختلفی را برای یافتن اندازه‌ها، شکل‌ها و مواد مناسبی که توازن بین نیوترون تولید شده و نیوترون از دست رفته را حفظ و کنترول نماید، به‌کار می‌برند.

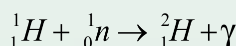
چون هسته فقط جزء ناچیزی از حجم یک اتم است، چانس برخورد یک نیوترون با یک هستهٔ یورانیم اندک است. یک نیوترون در حالی‌که چند سانتی‌متر حرکت می‌کند، می‌تواند از میان میلیون‌ها اتم یوارنیم (یا اتم‌های دیگر) بگذرد. هرگاه ریکتور کوچک باشد، فیصدی قابل توجهی از نیوترون‌های حاصل از نتیجهٔ متلاشی شدن، بدون ایجاد عمل واپاشی بیشتر، از دستگاه فرار می‌کند و نفوذ برخورد نیوترون‌ها ممکن است آن‌قدر محدود باشد که یک تعامل زنجیری نتواند ادامه یابد. تعداد نیوترون‌های تولید شده همواره متناسب با حجم می‌باشد، اما تعداد نیوترون‌هایی که فرار می‌کنند، متناسب با مساحت سطح است. اگر L اندازهٔ خطی دستگاه زیاد شود، حجم و مساحت به ترتیب متناسب با L^3 و L^2 افزایش می‌یابد؛

طوری‌که با بزرگ شدن L، اندازهٔ تولید نیوترون سریع‌تر از فرار نیوترون افزایش می‌یابد.

طرح ریکتور با ابعاد مناسب و با مواد معین که با اندازهٔ بحرانی مطابقت داشته باشد، بخش مهمی‌از تحقیق در زمینهٔ مهندسی هسته‌یی است. موضوع مهم دیگر در طرح ریکتورهای هسته‌یی، این واقعیت است که وقتی ^{235}U با نیوترون‌های کند بمباران شود، نیوترون‌هایی که در عمل متلاشی شدن آزاد می‌شوند، به صورت عموم با سرعت‌های بسیار زیاد خارج می‌شوند، انرژی نوسانی آن‌ها از حدود $0.01Mev$ تا حدود $20Mev$، و انرژی نوسانی متوسط آن‌ها حدود $2Mev$ است. نیوترون‌های سریع را می‌توان با افزودن ماده‌یی که نیوترون‌ها در برخورد با آن انرژی خود را از دست بدهند، کُند کرد. چنین ماده‌یی باید کتلهٔ اتمی‌نسبتاً کمی‌داشته باشد. درین صورت نیوترون‌ها در برخورد کش‌کننده با اتم‌های این ماده، بخش قابل ملاحظه‌یی از انرژی خود را منتقل خواهند کرد، اما این ماده نباید نیوترون‌های زیادی را تولید یا جذب کند. کاربن خالص به صورت گرافیت و همچنین آب و بریلیم می‌توانند چنین ضرورت‌هایی را رفع نمایند. این مواد را تعادل کننده می‌نامند، زیرا حرکت نیوترون‌های تازه تولید شده را کُند یا متعادل می‌کنند و تندی (تیزی) آن‌ها را به حدی می‌رسانند که احتمال متلاشی شدن اضافی به وسیله آن‌ها کم می‌شود.

اتم‌های هایدروجن آب در کُند کردن نیوترون‌ها بسیار مؤثر اند، زیرا از طرفی کتلهٔ هستهٔ هایدروجن تقریباً برابر با کتلهٔ نیوترون‌هاست و از طرف دیگر، تعداد اتم‌های هایدروجن در واحد حجم زیاد است. نیوترون در برخورد با هستهٔ هایدروجن، بخش بزرگی از انرژی خود را از دست می‌دهد.

فقط حدود 20 برخورد لازم است تا به طور متوسط نیوترون سریع کند شده و اندازهٔ انرژی آن به تحت $1ev$ برسد. اما نیوترون‌ها می‌توانند به وسیلهٔ هستهٔ هایدروجن طبق عکس‌العمل زیر تعامل کنند:

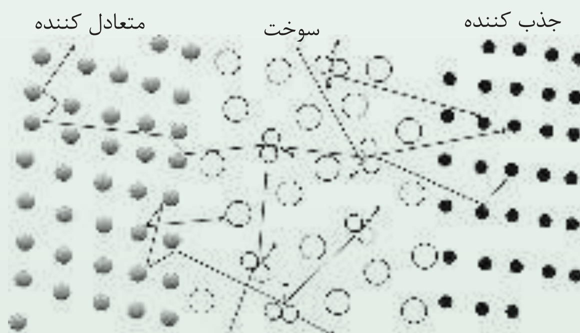


$${}_{1}^{1}H + {}_{0}^{1}n \rightarrow {}_{1}^{2}H + \gamma$$

احتمال این‌که این تعامل به جای برخورد، کش‌کننده صورت گیرد، به قدرکافی زیاد است. طوری‌که معلوم شده، انجام تعامل زنجیری با یورانیم طبیعی و آب معمولی غیرممکن می‌باشد.

اما برای ساختن ریکتورها راه‌های دیگری نیز وجود دارد؛ به طور مثال احتمال فوق‌العاده کمی‌برای جذب نیوترون به وسیلهٔ هستهٔ دوتریم، یعنی هستهٔ ایزوتوپ هایدروجن سنگین که در آب سنگین یافت می‌شود، وجود دارد. نیوترون به اساس هر برخورد با $^{2}_{1}H$ انرژی زیادی از دست نمی‌دهد. لیکن این نقص با میزان جذب بسیار کمتر آن جبران می‌شود. بنابرین یک تعامل زنجیری با یورانیم طبیعی و آب سنگین به سهولت امکان‌پذیر است. ریکتورهایی با یوارنیم طبیعی به حیث سوخت و آب سنگین به حیث متعادل‌کننده در ایالات متحده، کانادا، فرانسه و دیگر کشورها ساخته شده است.

اختلاف بین خواص هسته‌یی هایدروجن $^{1}_{1}H$ و دوتریم ($^{2}_{1}D$ یا $^{2}_{1}H$) از لحاظ توسعهٔ ریکتورهای هسته‌یی اهمیت زیادی دارد. آب سنگین بسیار گران‌تر از آب معمولی است، و وقتی با یورانیم طبیعی (عمدتاً ^{238}U) به کار برده شود، یک تعامل زنجیری به طور مؤثر صورت می‌گیرد. آب طبیعی را در صورتی می‌توان به کار برد که به‌جای یورانیم طبیعی، یورانیم غنی شده نسبت به ایزوتوپ ^{239}U به کار برده شود. در ایالات متحده ریکتورهای بسیاری که سوخت آن‌ها یورانیم غنی شده و متعادل کنندهٔ آن‌ها آب معمولی است، ساخته شده است. تقریباً در تمام توانگاه‌های بزرگ هسته‌یی که تا کنون ساخته شده و همچنین در ریکتورهای کشتی‌هایی که با توان هسته‌یی کار می‌کنند به‌کاربرد این نوع ریکتور متداول است.



شکل (11-6)

کاربن به صورت گرافیت نیز در بسیاری از ریکتورها به حیث متعادل‌کننده به کار رفته است، از جمله در ریکتورهای اولیه. اما گرافیت، عامل کُندکنندهٔ خوبی چون آب یا آب سنگین نیست، حدود 120 برخورد با اتم‌های کاربن لازم است تا یک نیوترون سریع با انرژی اولی $2Mev$ کند شده، به انرژی مطلوبی حدود $0.025ev$ برسد؛ در حالی‌که در آب سنگین فقط حدود 25 برخورد لازم است. گرچه کاربن به صورت گرافیت بهترین متعادل‌کننده نیست و تعداد محدودی نیوترون جذب می‌کند، اما وقتی قطعاتی از یورانیم طبیعی (مثلاً به صورت میله‌های استوانه‌یی) در پارچهٔ بزرگی از گرافیت به طور منظم قرار گیرد، یک تعامل زنجیری امکان وقوع پیدا می‌کند. چگونه‌گی انجام این کار، یکی از مشکلات عمده‌یی بود که می‌بایست پیش از انجام نخستین تعامل زنجیری حل می‌شد. نخستین تعامل زنجیری در سال 1942 به وسیلهٔ گروپی که زیر نظر انریکوفرمی‌کار می‌کردند، در دانشگاه شیکاگو عملی شد. امروزه ریکتورهای بسیاری که متعادل‌کنندهٔ گرافیتی دارند، در سراسر جهان کار می‌کنند، هدف کار با این نوع ریکتورها در مبحث بعدی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

کنترول یک ریکتور آسان است. هرگاه میزان متلاشی شدن‌ها زیاد شود، چند میلهٔ کنترول در ریکتور داخل می‌کنند. این میله‌ها مرکب از ماده‌یی چون کادمیم یابور (چون عنصر بور توسط دانشمندی دنمارکی به‌نام نیلزبور کشف گردید، این عنصر به‌نام خودش مسما گردید) است که نیوترون‌های کند را جذب می‌کند و بدین وسیله تعداد نیوترون‌های متعادل کننده را کاهش می‌دهد. خارج ساختن میله‌های کنترول موجب می‌شود که میزان کار ریکتور بالا رود. شکل (6-11) تعاملات اساسی یک ریکتور هسته‌یی را نشان می‌دهد که مادهٔ متلاشی‌پذیر آن یورانیم است.



بحث کنید

چگونه می‌توان سرعت عکس‌العمل یک ریکتور را کنترول کرد؟

رهایی انرژی به مقیاس زیاد و بعضی از پیامدهای آن:

در طول جنگ جهانی دوم، از ریکتورهای هسته‌یی برای تولید مواد خام نوعی بمب هسته‌یی یعنی برای ساخت ^{239}Pu از ^{238}U استفاده صورت گرفت که به قدر کافی کند می‌شدند و موجب متلاشی شدن در اتم‌های ^{235}U نمی‌شدند (در یورانیم طبیعی فقط حدود 0.75% اتم‌های ^{235}U وجود دارد) استفاده می‌شد، و در عوض، نیوترون‌های متلاشی شده از طریق تعاملاتی‌که در بخش قبل بیان شد، به وسیلهٔ ^{238}U جذب شده و هسته‌های ^{239}Pu را تشکیل می‌دادند. ^{239}Pu به مانند ^{235}Pu عمل می‌کند، هر دوی آن‌ها می‌توانند تعامل زنجیری کنترول نشدهٔ سریع ایجاد کنند. بمب‌های هسته‌یی از هر دوی این مواد ساخته می‌شدند. تنها یک بمب اتمی‌که از ^{235}U ساخته شده بود، شهرهیروشیما در جاپان را در 6 اگست سال 1945 ویران کرد، بمب دیگر که در آن از ^{239}Pu استفاده شده بود، سه روز بعد شهر ناگاساکی را منهدم ساخت.

از پایان جنگ جهانی دوم یعنی از سال 1945 به بعد تکنالوژی ازهم‌پاشی (متلاشی شدن) در دو جهت متفاوت توسعه یافت است. یکی جهت نظامی‌بوده است که در این جهت علاوه بر ایالات متحده، کشورهای دیگر از جمله بریتانیا، روسیه، فرانسه، هند و چین سلاح‌های هسته‌یی ساخته‌اند. توانایی عظیم مرگ‌بار این سلاح‌ها و تعداد روزافزون بمب‌های متنوعی که در چهار گوشهٔ جهان انباسته شده، تنش‌های خطرناک موجود در سراسر جهان افزونی بخشیده و نیاز به فرونشانی صلح‌آمیز مشاجرات بین‌المللی را امری مهم و قاطع ساخته است.

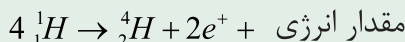
مسألهٔ اساسی خطرناک دیگر، تشعشعات رادیواکتیف در آزمایش‌های بمب هسته‌یی است. در انفجار بمب هسته‌یی مقدار قابل توجهی محصولات متلاشی شدهٔ رادیواکتیف پراکنده می‌شوند. این مواد به وسیلهٔ وزش باد از یک بخش جهان به نقاط دیگر آن منتقل می‌شوند و به وسیلهٔ برف و باران از هوا فرو می‌ریزند. بعضی از مواد رادیواکتیف طول عمر زیادی دارند، آن‌ها به وسیلهٔ مواد غذایی رونده جذب و به وسیلهٔ انسان‌ها و حیوانات خورده می‌شوند.

معلوم شده است که این گونه مواد رادیواکتیف آثار جنیتیکی و همچنین آثار زیان‌آور جسمانی دارند. یکی از فراوان‌ترین محصولات در تعامل متلاشی شدن ^{235}U یا ^{239}U که طول عمر زیادی نیز دارد، ایزوتوپ استرانسیم 90 $\left({}^{90}_{38}Sr\right)$ است. این ایزوتوپ از لحاظ خواص کیمیاوی شبیه به ${}^{40}_{20}Ca$ است.

بنابراین وقتی Sr^{90} از تشعشعات رادیواکتیف وارد بدن می‌شود، به مادۀ استخوانی بدن راه می‌یابد. Sr^{90} با پخش کردن ذرات β با انرژی $0.54 Mev$ (نیم عمر 28 سال) از بین می‌رود که می‌تواند به سلول‌ها آسیب رساند و موجب امراض دیگری مانند تومور استخوان و احتمالاً صدماتی به اشکال دیگر به خصوص در کودکان در حال رشد شود.
دربارۀ آسیب‌های ممکن برای نسل حاضر و نسل‌های آینده، بحث‌ها و پژوهش‌های بسیار به عمل آمده است. تا حدی در نتیجۀ درخواست‌ها و اعتراض‌های سازمان‌یافتۀ دانشمندان، ایالات متحده، بریتانیا، شوروی و ملت‌های دیگر (به جز فرانسه و چین) در سال 1963 دربارۀ به تعویق انداختن آزمایش‌های بیشتر بمب هسته‌یی در فضا به توافق رسیدند. همچنان درین معاهده ملت‌ها موافقت نمودند که سلاح‌های هسته‌یی در اختیار ملت‌های فاقد کوره‌های هسته‌یی قرار نگیرد. و بدین ترتیب، از سال 1970 زمینه برای گفتگو دربارۀ محدودیت تسلیحاتی آماده شد و با موفقیت نسبی ادامه یافت. همچنان حرارت بدون مصرف پخش تشعشعات رادیواکتیف و فضولات رادیواکتیف حاصل از مراکز هسته‌یی، امکان ایجاد مخاطراتی در محیط زیست دارند؛ مثلاً: مراکزی‌که به واسطۀ بخار، برق تولید می‌کنند، خواه هسته‌یی باشد یا فوسیلی، بین 30% و 40% قابل استفاده می‌باشد. این بدان معنی است که از هر سه واحدی‌که حرارت آن به توان محرکه تبدیل می‌شود، یک واحد آن برق تولید می‌کند و دو واحد دیگر آن بدون مصرف باقی می‌ماند. ذخیره‌گاه‌هایی که سوخت‌های فوسیلی (ذغال سنگ، نفت، گاز) مصرف می‌کنند، همواره مقداری از حرارت بی‌مصرف خود را به هوا می‌فرستند و سبب آلوده‌گی محیط زیست می‌شوند، که همین عمل را آلوده‌گی حرارتی می‌نامند. اگر همین حرارت به دریاها و دریاچه‌ها هم وارد گردد، حیات موجودات بحری را با خط مواجه می‌کند.

6-11: همجوشی یا گداز هسته‌یی (Nuclear Fusion)

در تعامل انفجار (متلاشی شدن) هسته‌یی دیدیم که یک هستۀ سنگین با جذب یک نیوترون به دو هستۀ سبک‌تر پراکنده شده و مقداری انرژی آزاد می‌شود.
یک نوع تعامل هسته‌یی دیگر نیز وجود دارد که گداز هسته‌یی نامیده می‌شود و آن وقتی صورت می‌گیرد که دو هستۀ سبک با یک‌دیگر ترکیب شوند و هستۀ سنگین‌تری تولید کنند. در این تعامل، کتلۀ هستۀ تولید شده کم‌تر از کتلۀ هسته‌های اولیه است و در نتیجه مقداری انرژی آزاد می‌شود. از این نوع تعاملات، به طور مثال می‌توان تعامل زیر را نام برد:

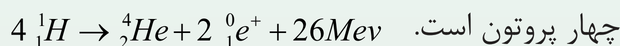


$$4\,{}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{4}H + 2e^{+} + \text{مقدار انرژی}$$

در این تعامل، چهار هستهٔ اتم هایدروجن (یعنی چهار پروتون) با هم ترکیب می‌شوند. و یک هستهٔ هیلیم 4 (یعنی یک ذرهٔ الفا) به اضافهٔ یک پوزیترون $(+e)$ تولید می‌کنند و مقداری انرژی نیز آزاد می‌نمایند. پوزیترون ذره‌یی مشابه الکترون است که کتلهٔ آن با کتلهٔ الکترون برابر و چارج آن مثبت است. تعامل هم‌جوشی هسته‌یی با یک مشکل بزرگ همراه است و آن این‌که ذره‌هایی که درین تعامل باید با هم ترکیب شوند، چارج مثبت دارند و برای آن که با هم ترکیب شوند (به هم جوش بخورند)، باید بر قوهٔ دافعهٔ برقی غلبه کنند. برای این کار در ابتدای پروسه باید مقدار زیادی انرژی صرف کرد. به طور مثال برای این‌که دو پروتون را به اندازهٔ کافی به هم نزدیک کنیم، باید به آن‌ها انرژی‌یی حدود $0.1Mev$ بدهیم تا به هم نزدیک شوند. این کار را می‌توان به کمک دستگاه‌هایی به نام شتاب دهنده انجام داد. اما دادن انرژی لازم برای آغاز فعالیت چنین دستگاهی، خیلی بیشتر از انرژی حاصل از تعامل همجوشی است. راه دیگری‌که برای تأمین این انرژی وجود دارد، حرارت دادن به هسته‌ها تا درجهٔ حرارت $10^7 c^\circ$ است که در چنین درجهٔ حرارتی، انرژی حرکتی هسته‌ها برای غلبهٔ قوهٔ دافعهٔ برقی بین آن‌ها کافی خواهد بود. چنین درجهٔ حرارت بالایی در ستاره‌گان و آفتاب وجود دارد؛ طور مثال: درجهٔ حرارت داخلی آفتاب در حدود $2\times10^7 c^\circ$ است، پس تعامل گداز هسته‌یی در آفتاب و ستاره‌گان به طور عادی و طبیعی صورت می‌گیرد. بخش عمدهٔ انرژی آفتابی از طریق تعامل هم‌جوشی تأمین می‌شود. این انرژی به اندازه‌یی است که هم آفتاب را داغ نگه می‌دارد و هم انرژی لازم را برای اقمار و سیاره‌های منظومهٔ شمسی و از آن جمله سیارهٔ زمین فراهم می‌کند.

تعاملات همجوشی در ستاره‌گان

یکی از دلچسپ‌ترین موضوعات فزیک هسته‌یی، مطالعهٔ انواع گوناگون منابع انرژی ستاره‌گان است که آفتاب یکی از آن‌هاست. در آفتاب پروسهٔ همجوشی، تولید یک هستهٔ هیلیوم از چهار پروتون است.



$$4\ {}_1^1H \rightarrow {}_2^4He + 2\ {}_1^0e^+ + 26Mev$$

این تعامل در یک مرحله صورت نمی‌گیرد، بلکه طی مرحله‌های متفاوتی از تعاملات به پیش می‌رود که نتیجهٔ کلی آن‌ها در معادلهٔ بالا خلاصه شده است. در هر مرحله مقدار کل انرژی آزاد شده $26Mev$ است. منبع اصلی هم‌جوشی چهار پروتون و تبدیل آن‌ها به هستهٔ هیلیوم، انرژی داخلی آفتاب است. تعاملات کیمیایی نمی‌توانند آن‌قدر زیاد (یا آن‌قدر دوام‌دار) انرژی ایجاد کنند که جوابگوی تولید انرژی در آفتاب باشد، اما تعاملات هم‌جوشی هسته‌ها در آفتاب از عهدهٔ این کار برمی‌آیند. هایدروجن و هیلیوم مجموعاً حدود 99% کتلهٔ آفتاب را تشکیل می‌دهند که در آن تقریباً هایدروجن دو برابر هیلیوم است.

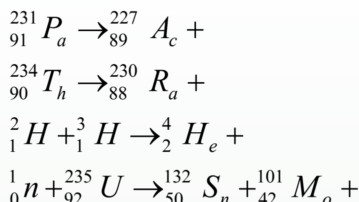
بنابرین در آفتاب ذخیرهٔ هایدروجن کافی وجود دارد که می‌تواند انرژی آفتاب را برای میلون‌ها سال آینده تأمین نماید.

تبدیل هایدروجن به هیلیوم با کدام مجموعه از تعاملات ممکن صورت می‌گیرد؟ پروسهٔ مستقیم از نتیجهٔ برخورد چهار پروتون برای تشکیل یک هستهٔ هیلم قابل قبول دانسته نشده است، زیرا احتمال چنین تعاملی در شرایط آفتاب بسیار کم است. البته ممکن است چنین تعاملی صورت گیرد مگر نه آن‌قد زیاد که جواب‌گویی مقدار انرژی آزاد شده باشد.

وقتی درجهٔ حرارت در حدود $10^7 k^\circ$ باشد، انرژی جنبشی یا ارتعاشی، آن‌قدر زیاد است که برای فایق آمدن بر قوهٔ دافعهٔ برقی بین پروتون‌ها کفایت می‌کند و در نتیجه هم‌جوشی دو پروتون $_1^1H$ صورت می‌گیرد. نتیجهٔ این تعامل هسته‌یی یک دیوترون $_1^2H$، یک پوزیترون ($_{+1}^{0}e$) و یک نوترینو است. به محض آنکه یک دیوترون تولید شود، بر پروتون دیگر اثر می‌کند و نتیجهٔ آن یک هیلیوم 3 ($_2^3He$) و یک اشعهٔ γ است.

هسته‌های هیلیوم 3 با یک‌دیگر جوش خورده، ذرهٔ α و دوپروتون به وجود می‌آورند. در هر یک از این تعاملات انرژی آزاد می‌شود و حاصل آن برای یک دورهٔ کامل، تبدیل چهار پروتون به یک هستهٔ هیلیوم و $26Mev$ است. سرعت پیشرفت تعامل به تعداد هسته‌ها در واحد حجم و به درجهٔ حرارت بسته‌گی دارد. به هر اندازه که درجهٔ حرارت بیشتر باشد، حرکت و یا انرژی حرارتی ذرات بیشتر و برخورد بین ذره‌ها سریع‌تر، مکررتر و پُرانرژی‌تر خواهد بود. در حرارت هستهٔ (داخل) آفتاب که به 10 تا 20 میلیون درجه بالغ می‌گردد، انرژی‌های جنبشی حاصل از حرکت حرارتی ذرات در حدود $1kev$ می‌باشد. آزاد شدن انرژی زیاد با پروسهٔ تعاملات هم‌جوشی، تا کنون فقط به وسیلهٔ انفجارهای حرارت هسته‌یی از قبیل بمب‌های هایدروجنی در روی زمین ممکن بوده است. یک بمب هایدروجنی، مخلوطی از عناصر سبک با یک بمب متلاشی شده است. ذرات پُرانرژی که به وسیلهٔ تعامل متلاشی شدن ایجاد می‌شود، به عنوان آغازگر تعامل هم‌جوشی به کار می‌آیند. انفجار بمب متلاشی شده، درجهٔ حرارتی در حدود $5\times10^7 k^\circ$ تولید می‌کند که برای ایجاد تعامل هم‌جوشی کافی است. به دنبال آن، تعاملات هم‌جوشی مقادیر عظیمی انرژی اضافی آزاد می‌کنند. مجموع انرژی رها شده، بسیار بیشتر از مقدار انرژی‌یی است که از بمب متلاشی شده به تنهایی آزاد می‌شود.

تمرین: تعاملات زیر را کامل کرده و برای تعیین علامۀ ایزتوپ‌ها از جدول مندلیف استفاده کنید:



$$^{231}_{91}P_a \rightarrow ^{227}_{89}A_c +$$
$$^{234}_{90}T_h \rightarrow ^{230}_{88}R_a +$$
$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}H_e +$$
$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{132}_{50}S_n + ^{101}_{42}M_o +$$

6-12: **ریکتور هسته‌یی** (*Nuclear Reactor*)

دیدیم که در پروسۀ تعامل هسته‌یی، یوارنیم 235 با جذب یک نیوترون کُند متلاشی می‌شود و سه نیوترون می‌فرستد، این تعامل در شکل (6-9) نشان داده شده است.
نیوترون‌های فرستاده شده می‌توانند به نوبۀ خود موجب انجام تعامل هسته‌های دیگر یورانیم 235 شوند. اگر این پروسه هم‌چنان ادامه پیدا کند، تعداد نیوترون‌ها به سرعت زیاد می‌شود و تعاملات بیشتری رخ می‌دهد که این روند را تعامل زنجیری می‌نامند. در شکل زیر (6-12) یک نمونه تعامل زنجیری نشان داده شده است.



شکل (6-12)

دیده می‌شود که در این نمونۀ تعامل، انرژی زیادی تولید می‌شود. اگر تعامل زنجیری کنترول نشود (یعنی اگر به آهسته‌گی صورت نگیرد) ممکن است به انفجار عظیمی‌منجر شود، از این رو ریکتورهای هسته‌یی را به گونه‌یی طراحی می‌کنند که در آن‌ها تعاملات متلاشی شدن به صورت کنترول شده انجام شود. دیدیم که در یورانیم طبیعی تنها 0.7 درصد یورانیم 235 وجود دارد و بقیه یورانیم 238 است که تعامل هسته‌یی در آن روی نمی‌دهد.

برعکس یورانیم 238 می‌تواند با جذب نیوترون‌های پُرانرژی و سریع حاصل از نتیجهٔ تعامل یورانیم 235، به هسته‌های دیگر مانند نپتونیم تبدیل شود، ولی نمی‌تواند نیوترون‌های کند را جذب کند. در نتیجه باید گفت که یورانیم طبیعی مادهٔ مناسبی برای تعامل زنجیری است. ولی اگر یورانیم طبیعی را با مادهٔ دارای اتم‌های سبک مخلوط کنیم، اتم‌های سبک باعث کند کردن نیوترون‌ها و مانع جذب آن‌ها به وسیلهٔ یورانیم 238 می‌شوند که این نوع ماده‌های با اتم‌های سبک را کُندکننده می‌نامند.

کُندکننده‌های متداول عبارت اند از: آب معمولی، آب سنگین و کاربن. آب سنگین آبی است که مولیکول‌های آن به‌جای هایدروجن معمولی (با هستهٔ ^1_1H) ایزتوپ آن یعنی دوتریم (با هستهٔ ^2_1D) را دارند. اثر افزودن مادهٔ کُندکننده درست مانند کم کردن تعداد هسته‌های یورانیم 238 است. اگر بخواهیم جریان تعامل زنجیری ادامه داشته باشد، نباید مقدار هسته‌های یورانیم 235 خیلی کم باشد، به قسمی‌که نیوترون‌های حاصل از هر مرحلهٔ متلاشی شدن یا پراکنده شدن بتوانند پیش از آن که جذب شوند، به هستهٔ دیگر یورانیم 235 برخورد کنند. از سوی دیگر، اگر تعداد هسته‌های یورانیم 235 بسیار زیاد هم باشد، تعامل زنجیری با سرعت بسیار زیاد روی می‌دهد و انفجاری خواهد بود. بین این دو وضعیت، حالت بهتری وجود دارد که در آن تنها یک نیوترون حاصل از هر مرحله در عمل متلاشی شدن بعدی شرکت می‌کند و تعامل با زمان معین ادامه می‌یابد. این مقدار معین مادهٔ اولیه را که برای آن در هر متلاشی شدن تنها یک نیوترون برای متلاشی شدن بعدی شرکت می‌کند، کتلهٔ بحرانی می‌نامند. به این اساس، ریکتورهای هسته‌یی را به گونه‌یی طراحی و استفاده می‌کنند که عملیه‌های متلاشی شدن در آن‌ها در شرایطی نزدیک به حالت بحرانی انجام شود. انرژی‌یی که از اثر عمل متلاشی شدن حاصل می‌شود، سرانجام به شکل حرارت ظاهر می‌شود، یعنی ریکتور هسته‌یی مانند کوره‌یی عمل می‌کند که سوخت آن به جای ذغال سنگ، نفت یا گاز، یورانیم 235 است و می‌تواند یک توربین بخار معمولی مؤلد برق را به کار اندازد. سوخت مورد نیاز ریکتورها، یورانیم غنی شده‌یی است که باید در حدود چند درصد یورانیم 235 داشته باشد. شکل (13-6) نیروگاه هسته‌یی را نشان می‌دهد. مواد سوخت ریکتور در محلی به نام قلب ریکتور در داخل غلاف مخصوصی قرار می‌گیرد.

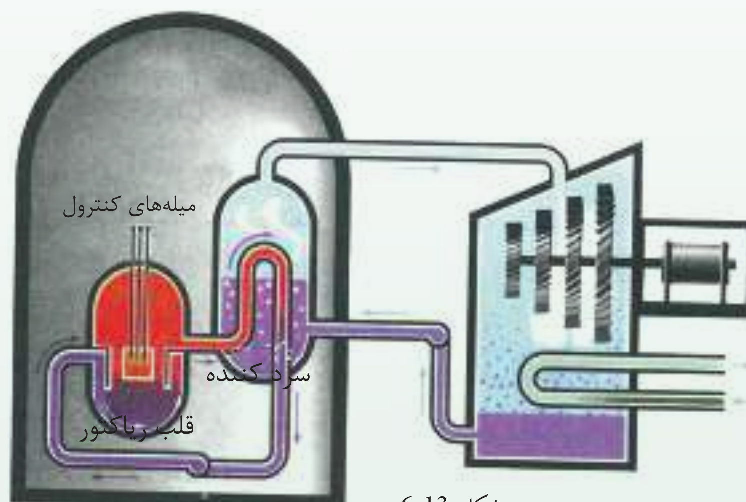
سرعت عکس‌العمل متلاشی شدن را به کمک چند میلهٔ کنترول از جنس عناصر کادیم یا بور که در قلب ریکتور قرار می‌گیرد، تنظیم می‌کنند. بدین ترتیب، اتم‌های کادیم یا بور نیوترون‌ها را به خوبی جذب می‌کنند.

برای افزایش مقدار زمان معین تعامل متلاشی شدن، میله‌های کنترول را در حد معینی از قلب ریکتور خارج می‌کنند و برای کاهش مقدار زمان معین تعامل و یا متوقف کردن، آن میله‌ها را در قلب ریکتور فرو می‌برند. حرارت تولید شده در اثر متلاشی شدن را به وسیلهٔ ساده‌یی که سرد کنند نامیده می‌شود، از ریکتور خارج می‌کنند که متداول‌ترین سردکننده، آب معمولی است. ریکتورهای هسته‌یی منبع انرژی بزرگی را به وجود می‌آورند، ولی استفاده از آن‌ها با مسایل و مشکلات بزرگی نیز همراه است، از جمله این‌که:

- میزان ذخایر معدنی یورانیم که سوخت ریکتورهای هسته‌یی را تشکیل می‌دهند، در طبیعت محدود است.

- غنی‌سازی یورانیم طبیعی پروسه‌یی مشکل و بسیار پُرمصرف است.

- یورانیم ماده‌یی رادیواکتیف است وکار کردن با آن برای انسان زیان آور است.



شکل (13-6)

- پسمانده‌های سوخت ریکتورها، رادیواکتیف هستند و نگهداری و دفن آن‌ها نه تنها عواقب ناگوار برای زیست محیطی به دنبال دارد، بلکه پُرمصرف نیز است.

- حوادث احتمالی در ریکتورها باعث پخش ماده‌های رادیواکتیف در محیط زیست و آلوده‌گی آن می‌شود. از این رو نظارت و حفاظت از ریکتورهای متلاشی شده، بسیار مهم و کاری پُرمصرف است

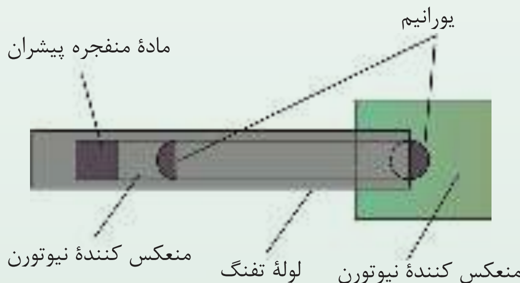
6-13-1: بمب‌های هسته‌یی

در یک کتلهٔ معینی از ^{235}U و ^{239}Pu (پلوتونیم)، این‌که نیوترون‌های تولید شده بر اثر متلاشی شدن، خود به‌خود با نیوترون‌های سرگردان می‌توانند یک تعامل زنجیری را آغاز نمایند و این‌که این تعامل ادامه پیدا کند یا نه، بسته‌گی به تعداد نیوترون‌هایی دارد که بر اثر جذب بدون تعامل (مانند ^{238}U) یا خارج شدن از محدودهٔ کتله از دست می‌روند.

اگر کتله بزرگ باشد، تعداد کمی‌از نیوترون‌ها می‌توانند بدون برخورد با یک هسته به جوار کتله برسند، از این‌رو کتلهٔ بزرگ مانع فرار نیوترون‌ها می‌شود و برای تعامل زنجیری مناسب است. اگر تعداد نیوترون‌های تلف شده (بر اثر فرار یا جذب) از تعامل زنجیری برابر با تعداد نیوترون‌های آزاد شده در اثر متلاشی شدن باشد، این کتله را کتلهٔ بحرانی می گویند. در این حالت، تعامل زنجیری با حالت ثابت به پیش می‌رود (مانند ریکتورهای هسته‌یی) اگر تعداد نیوترون‌های تلف شده از تعامل زنجیری کمتر از تعداد نیوترون‌های آزاد شده در تعامل متلاشی شده باشد. انفجار بمب متلاشی کتله را فوق بحرانی می گویند. دراین حالت تعامل زنجیری به طور فزاینده به پیش میرود و به انفجار منجر می‌شود (مانند بمب هسته‌یی). برای ^{235}U خالص که به صورت کره‌یی در آمده باشد، کتلهٔ بحرانی در حدود $50kg$ است. ساده‌ترین بمب اتمی متشکل است از دو قطعهٔ ^{235}U که کتلهٔ هر یک به تنهایی کمتر از کتلهٔ بحرانی و به طور مجموعی بیشتر از کتلهٔ بحرانی است. برای این‌که بمب منفجر شود، باید دو قطعه را که ابتدا در فاصلهٔ امنی از یک‌دیگر قرار دارند، ناگهان به هم نزدیک کرد. در اولین بمب وسیله‌یی که برای به هم نزدیک شدن دو قطعهٔ یورانیم به کار رفت، تفنگی بود که یک قطعه را با سرعت زیاد به سمت قطعهٔ دیگر به پیش می‌راند.

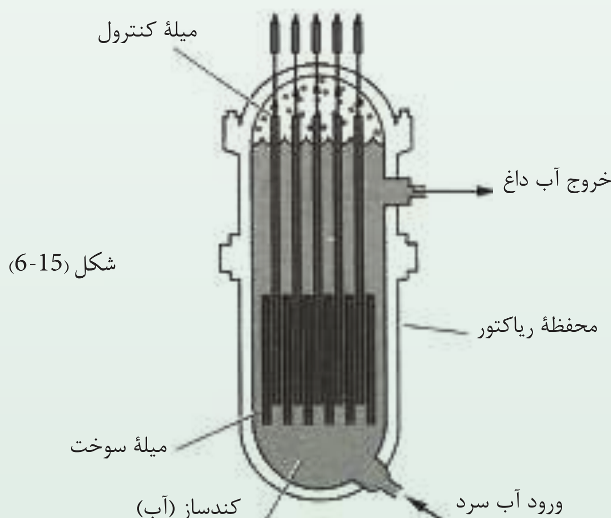


شکل (6-14)



بمب‌های متلاشی شدهٔ پیچیده‌تر متشکل اند از یک کتلهٔ تحت بحرانی ^{239}U. انرژی آزاد شده در انفجار هر بمب اتمی، در نوع خود معادل انرژی آزاد شده در انفجار حدود 20 کیلو تن تی. ان. تی است. TNT مخفف (Tri Nitro Toluene) بوده و مانند دینامیک یک مادهٔ انفجاری است، شکل (14-6). بیشترین بهرهٔ انفجاری در بمب‌های هایدروجنی به دست می‌آید که در آن‌ها یک بمب اتمی برای شروع تعامل‌های هسته‌یی شبیه تعامل‌های هسته‌یی داخل آفتاب به کار می‌رود. انرژی آزاد شده در هر بمب هایدروجن در حدود یک یا چندین میگاتن می‌باشد. چنین انفجاری با آتش‌سوزی و انهدام کامل و نابودی زنده‌گی تا شعاع شانزده کیلومتری از مرکز انفجار، می‌تواند شهر کاملی را با خاک یک‌سان کند.

برای استفادهٔ صلح‌آمیز از تعامل‌های هسته‌یی در ریکتور هسته‌یی، باید تعامل زنجیری را کنترول کنیم تا به قسم ثابت و یک‌نواخت انرژی آزاد کند. یعنی سیستم محافظتی یوارنیم یا هر سوخت هسته‌یی دیگر باید به حالت بحرانی باشد. رایج‌ترین نوع ریکتور، ریکتوری است که با یورانیم غنی شده شامل چند درصد ^{235}U مخلوط با نودوچند درصد ^{238}U کار می‌کند. این مخلوط یورانیم نمی‌تواند به خودی خود تعامل زنجیری را حفظ کند، زیرا ^{238}U بیشتر نیوترون‌ها را جذب می‌کند. اما اگر این مخلوط را ماده‌یی که نیوترون‌های آزاد شده در عملیهٔ متلاشی شدن را کند می‌کند احاطه کند، تعامل زنجیری تداوم می‌یابد. مادهٔ کُندکنندهٔ نیوترون‌ها را کندساز می‌گویند. نقش مادهٔ کندساز در هر عمل متلاشی شدن، شبیه به نقش کتلست در یک تعامل کیمیاوی است، چون نیوترون‌های کند در ایجاد متلاشی شدن ^{235}U مؤثرتر از نیوترون‌های تند (سریع) هستند و احتمال جذب آن‌ها توسط ^{238}U نیز کمتر است. کندساز تعامل زنجیری را تقویت می‌کند.



شکل (15-6)

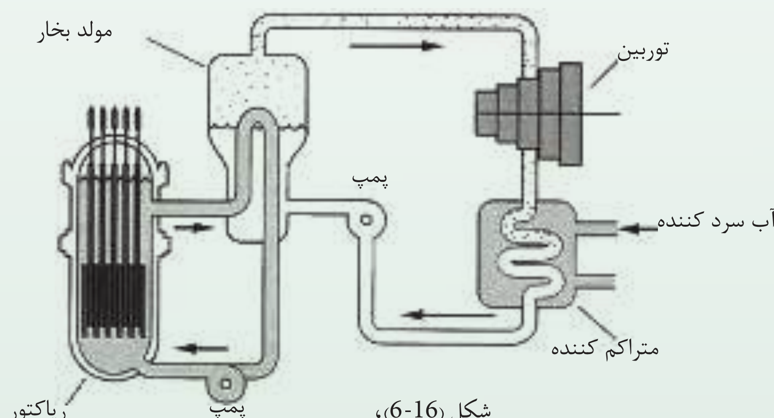
یورانیم در داخل ریکتور، به صورت معمول در میله‌های سوخت بلند قرار داده می‌شود و این میله‌ها در داخل کندساز غوطه‌ور اند، شکل (6-15). نیوترون‌های سریعی که در اثر متلاشی شدن‌ها آزاد می‌شوند، از میله‌های سوخت به کندساز می‌روند و در آنجا بر اثر برخورد با هسته‌های کندساز انرژی نوسازی خود را از دست می‌دهند، سپس به طرف یکی از میله‌های سوخت برمی‌گردند و سبب تولید متلاشی شدن‌های دیگری می‌شوند. سه کُندساز مناسب عبارت اند از: آب معمولی (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و گرافیت (کاربن خالص).

سیستم‌بندی و ساختار ریکتور (اندازه، تعداد و محل میله‌های سوخت و شکل کندساز آن) باید طوری طراحی شوند که ریکتور تقریباً بحرانی باشد. تنظیم دقیق تعداد نیوترون‌ها در تعامل به طور ثابت با وسیله‌یی به نام میله‌های کنترول بور یا کادیم انجام می‌شود. این مواد نیوترون‌ها را به شدت جذب می‌کنند و با فشار دادن میله‌های کنترول به داخل و یا بیرون کشیدن آن‌ها، تعامل به طور ثابت کاهش یا افزایش می‌یابد.

6-13-2: **کاربردهای ریکتور هسته‌یی**

در مورد شناخت ریکتور هسته‌یی در درس گذشته معلومات حاصل نمودید، اکنون در مورد کاربردهای ریکتور هسته‌یی آشنایی حاصل می‌کنید.

کاربرد عمدهٔ ریکتورها در تولید توان الکتریکی (برقی) است. در ایالات متحده، قلب بیشتر ریکتورهایی که برای این منظور به کار می‌روند پر از آب است. آب هم‌زمان هم به حیث کُندساز و هم به حیث سردکننده به کار می‌رود. آب در قلب ریکتور می‌چرخد و انرژی حرارتی آزاد شده در تعامل‌های متلاشی شدن را خارج می‌کند، شکل (6-16).



شکل (6-16)،
طرح نیروگاه هسته‌یی

این حرارت از آب به بخار منتقل می‌شود و بخار، یک توربین بخار را که به یک مؤلد برقی متصل است، می‌چرخاند. از این رو ریکتور هسته‌یی نقش یک کورهٔ ماشین بخار معمولی را بازی می‌کند، که سوخت آن به جای ذغال و یا نفت، یورانیم است. منبع قوه‌های هسته‌یی می‌توانند همهٔ نیازهای انرژی چندین صد سال، یا حتا چندین هزار سال آیندهٔ ما را تأمین کنند. با تأسف تعاملات متلاشی شدن هسته‌یی، انرژی کثیف حاوی پسمانده‌های خطرناک اشعهٔ رادیواکتیف را نیز تولید می‌کنند. منبع قوه‌های هسته‌یی باید طوری با دقت عیار شوند که بتوانند این پسمانده‌ها را محبوس نگه‌دارند.



شکل (6-17)
نیروگاه هسته‌یی

قلب ریکتور در یک محفظهٔ سنگین قرار دارد و به حیث یک اقدام احتیاطی اضافی به این محفظه، پمپ‌ها و پیپ‌های متصل به آن در جای محفوظی قرار می‌گیرد. وقتی سوخت ریکتور تمام شد، پسمانده‌های رادیواکتیف باید به محل امن منتقل و در آنجا صدها سال انبار شود تا اشعهٔ رادیواکتیف آن‌ها از بین برود. سوخت همهٔ ریکتورهای قدرتمند در ایالات متحده ^{235}U است. متأسفانه ذخیرهٔ این سوخت هسته‌یی نسبتاً محدود است و انتظار می‌رود که در اوایل قرن آینده تمام شود. اما سوخت‌های هسته‌یی دیگر به مقدار زیاد وجود ندارد، که یکی از آن‌ها ^{238}U است. اگر چه ادامهٔ تعامل زنجیری در ^{238}U ممکن نیست، اما ^{238}U می‌تواند به ^{239}Pu تبدیل شود که تعامل زنجیری در آن صورت می‌گیرد. تولید ^{239}Pu یک محصول محرکهٔ کار ریکتورهای هسته‌یی فعلی است، در همهٔ این ریکتورها، میله‌های سوخت، حاوی مخلوطی از ^{235}U و ^{238}U هستند و به اثر برخورد نیوترون‌های متلاشی شده با ^{238}U، به تدریج آن را به ^{239}Pu تبدیل می‌کند. ریکتوری که ^{239}Pu مصرف می‌کند، نه تنها مواد باالقوهٔ زاید را به کار می‌برد، بلکه اگر در پوششی از ^{238}U محصور شود، می‌تواند ^{239}Pu اضافی نیز تولید کند. تعداد نیوترون‌های آزادشده در متلاشی شدن ^{238}U به قدری زیاد است که در ریکتوری‌که خوب طراحی شده، نیوترون‌ها می‌توانند بدون این که اختلالی در تعامل زنجیری به وجود آید، به طرف ^{239}Pu نیز هدایت شوند. چنین ریکتوری می‌تواند بیش از مقدار ^{239}Pu که از ذخیرهٔ اصلی آن مصرف می‌کند، تولید کند. این نوع ریکتورها را ریکتور زاینده می‌گویند. این ریکتورها به دلیل نگرانی از ایمن نبودن آن‌ها، در ایالات متحده به کار برده نمی‌شوند. اما تعدادی از آن‌ها به طور موفقیت‌آمیز در اروپا کار می‌کنند.

خلاصهٔ فصل ششم

• تمام کتلهٔ اتوم‌های یک عنصر در هستهٔ آن متمرکز است.
• هسته شامل پروتون‌ها و نیوترون‌هایی است که به صورت فشرده کنار هم قرار گرفته اند.
• عناصری که نمبر اتومی‌شان یکی، اما وزن اتومی‌شان از هم فرق داشته باشد، آیزوتوپ نامیده می‌شوند.
• قوهٔ دافعهٔ برقی پروتون‌ها سعی بر متلاشی شدن هسته‌ها را دارد اما چون قوهٔ جاذبهٔ هسته‌یی بر این قوه غلبه دارد، در نتیجه، هسته پایدار می‌ماند.
• هر قدر تعداد ذرات یک هسته بیشتر باشد، هسته بزرگ‌تر و فاصلهٔ بین ذرات هسته زیادتر می‌شود، در نتیجه تعادل قوه‌ها از بین می‌رود و هسته ناپایدار می گردد. این گونه آیزوتوپ‌ها را ناپایدار می‌نامند.
• با گذشت زمان در هستهٔ ایزوتوپ‌های ناپایدار تغییراتی صورت می گیرد و آن‌ها به هسته‌های پایدارتر تبدیل می‌شوند. این‌گونه تغییرات به صورت خود به خودی رخ می‌دهد.
• تمام عنصرهایی که عدد، اتومی شان بزرگ‌تر از $Z = 38$ است، ناپایدار اند. این عنصرها به تدریج از کرهٔ زمین ناپدید می‌شوند. ریدیوم، توریوم و یورانم از جملهٔ این عنصرها هستند.
• هنگامی‌که ذرات در هسته گرد هم آمده اند، مقداری انرژی از دست داده اند. مقدار این انرژی از رابطهٔ $B = \Delta Mc^2$ به دست می‌آید و آن را انرژی بسته‌گی هسته می‌نامند.
• ذرهٔ الفا $(\propto)$، هستهٔ هلیوم است که از دو پروتون و دو نیوترون تشکیل شده است.
• ذرهٔ بیتا (β) از جنس الکترون است.
• ذرهٔ گاما (γ) از جنس موج‌های الکترومقناطیسی با طول موج بسیار کوتاه است.
• نیم عمر یک مادهٔ را دیواکتیو، مدت زمانی است که طی آن نیمی‌از هسته‌های رادیواکتیف موجود در آن متلاشی می‌شوند.
• انشقاق هسته‌یی، یک عکس‌العمل هسته است که طی آن یک هستهٔ سنگین به دو هسته با کتله‌های کمتر انشقاق می‌شود.
• ریاکتور هسته‌یی ریاکتوری است که سوخت آن به جای زغال سنگ، نفت یا گاز، یورانیم 235 است و می‌تواند یک توربین بخار معمولی مولد برق را به کار اندازد. ریاکتورهای هسته‌یی، منبع انرژی بزرگی را به وجود آورده اند.
• تولید پلاتین 197 (مادهٔ رادیواکتیف) در یک تعامل هسته‌یی، نمونه‌یی از رادیواکتیف مصنوعی است.
• حرارت مصرف نشدهٔ بخش تشعشات رادیواکتیف و فضولات رادیواکتیف حاصل شده از

مراکز هسته‌یی، امکان ایجاد مخا طراتی را در محیط زیست دارند.

• تعامل زنجیری در سال 1942 به‌وسیلهٔ گروپی که زیر نظر انریکوفرمی‌کار می‌کردند، در دانشگاه شیکاکو عملی گردید.

• وقتی که دو هستهٔ سبک با یک‌دیگر ترکیب شوند و هستهٔ سنگین‌تری تولید کنند، در این صورت کتلهٔ هستهٔ تولید شده کم‌تر از کتلهٔ هسته‌های اولیه است، و در نتیجه مقداری انرژی نیز آزاد می‌شود.

سؤال‌های فصل ششم

1) فرق بین الکترون و پوزیترون چیست؟

2) هسته چه بوده و دارای کدام اجزاست، واضح سازید؟

3) کدام هسته‌ها را هسته‌های رادیواکتیف می‌نامند؟

4) فرق بین رادیواکتیف و آیزوتوپ چیست؟

5) فرق بین اشعهٔ α و β چیست؟

6) اشعهٔ αو γ از هم چه فرقی دارند؟

7) چه وقت در هسته انشقاق صورت می‌گیرد؟

8) از ریاکتورهای هسته‌یی برای چه استفاده می‌کنند؟

9) وقتی یک اتوم تحت بمبارد مان قرار گیرد، کدام مواد را تولید می‌کند؟

10) از هستهٔ ریدیوم $^{226}_{88}Ra$ یک ذرهٔ الفا α گیسل می‌شود. معادلهٔ عمل متقابل را بنویسید.

11) از کوبالت 60 اشعهٔ گاما (γ) گیسل می‌شود. معادلهٔ عمل متقابل را بنوسید.

12) بیسموت 210($^{210}_{83}Bi$) عنصر رادیواکتیف است که از آن اشعهٔ β گیسل می‌شود. معادلهٔ عمل متقابل را بنویسید؟

13) هنگامی‌که از ایزوتوپی، اشعهٔ الفا(α)گیسل می‌شود، چه تغییری در هسته رخ می‌دهد؟

وهم‌چنان هنگام گیسل اشعهٔ بیتا (β) و هنگام گیسل اشعهٔ گاما (γ) چگونه تغییراتی رخ می‌دهد؟

14) یورانیم 239 ایزوتوپی است؟

a: پایدار b: ناپایدار c: هر دوی آن d: بی‌تفاوت

15) قطر هستهٔ اتوم در کدام حدود ذیل کوچک‌تر از قطر اتوم است؟

$a-$ 10^{2} چند $b-$ 10^{5} چند $c-$ 10^{-2} چند $d-$ 10^{-5} چند

16) کدام یک از علامه‌های زیر علامهٔ کیمیایی یک اتوم X را در فزیک هسته‌یی درست نشان می‌دهد؟

$a-$ ${}^{N}_{Z}X_{A}$ $b-$ ${}^{A}_{N}X_{Z}$ $c-$ ${}^{A}_{Z}X_{N}$ $d-$ ${}^{Z}_{A}X_{N}$

17) با گیسل کدام اشعه از هستهٔ اتوم، فقط چارج هسته تغییر می‌کند و عدد کتلهٔ آن ثابت می‌ماند؟

$a-$ بیتا (β) $b-$ الفا (α) $c-$ پروتون $d-$ گاما (γ)

18) کدام عبارت درست است؟

$a-$ با گذشت زمان، نیم عمر یک عنصر رادیواکتیف کاهش می‌یابد.

$b-$ بر اثر تشعشع (رادیواکتیفیتی) ممکن است نمبر اتومی‌هسته کاهش و یا افزایش یابد.

$c-$ هر چه انرژی بسته‌گی هسته بیشتر باشد، آن هسته ناپایدارتر است.

$d-$ اگر از هسته فقط اشعهٔ الفا خارج شود، عدد کتلهٔ آن یک واحد کاهش می‌یابد.

19) در اتوم ${}^{60}_{28}Ni$ تعداد پروتون‌ها در هسته چند دانه است؟

$a-$ 28 $b-$ 32 $c-$ 60 $d-$ 88

جدول دوره‌یی عناصر

Periodic Table of Elements

1 IA 1A	2 IIA 2A	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9	10	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	18 VIIIA 8A
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57-71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89-103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

فلزات‌القالی — فلزات القالی زمینی — فلزات‌انتقالی — فلزات‌اصلی — شبه فلزات — غیرفلزات — هلوجن‌ها — گازات نجیبه — سلسلهٔ لانتانایدها — سلسلهٔ اکتینایدها

منابعی که از آن استفاده شده:

1. PHYSICS (PRINCIPLES WITH APPLICATIONS), by Douglas C. Gain coli, Published by Pearson Education Inc, 2005.

2. PHYSICS by James S. Walker, Pearson Education Inc. USA, New Jersey, 2004

3. PHYSICS by R.A. Serwey and J.S. Faughn, 2006 by Holt, Rinehart and Winston.

4. PHYSICS, A Text book, published by Surat Publishing Company, Printed in TURKEY, 1996.

5. THERMODY NAMICS and Molecular Physics, by Osman OZPALA, Ahmet ACET, Printed in Istanbul- TURKEY, 2003

6. کتاب درسی فزیک صنف دوازدهم مکاتب تعلیمات عمومی، ریاست تألیف و ترجمه، وزارت معارف، کابل، 1383. هـ .ش

7. کتاب درسی فزیک صنف دهم مکاتب تعلیمات عمومی، ریاست تألیف و ترجمه، وزارت معارف، کابل، 1383. هـ .ش

8. اصول فزیک جلد اول،هانس سی. اوهانیان، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، 1383

9. فزیک برای رشته‌های فنی، فردریک بیوکی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، 1385

10. طرح فزیک‌هاروارد، واحد(5) مدل‌های اتم، هولتون، رادرفورد، واتسون، مؤسسهٔ فرهنگی فاطمی، تهران، 1380

11. طرح فزیک‌هاروارد، واحد(6) هستهٔ اتم، هولتون، رادرفورد، واتسون، مؤسسهٔ فرهنگی فاطمی‌تهران، 1380

12. فزیک 2 دورهٔ پیش دانشگاهی (کتاب کار دانش‌آموز)، محمد علی پزشپور و روح الله خلیلی بروجنی، مؤسسهٔ فرهنگی فاطمی، تهران، 1384هـ ش

13. فزیک (1 و 2) دورهٔ پیش دانشگاهی، احمد احمدی، اعظم پورقاضی و... سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش ایران، 1384

14. فزیک (3) و آزمایشگاه، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، سال طبع 1385 هـ ش